



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΑΣΤΕΡΟΣΚΟΠΕΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ

**ΔΙ-ΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΦΥΣΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ
ΚΑΙ ΜΑΚΡΟ-ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ
ΣΤΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΛΕΣΒΟΥ.
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ:
ΣΕΙΣΜΟΣ ΣΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ ΛΕΣΒΟΥ
(4.0 M_w) ΤΗΣ 15^{ης} ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2021**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΡΑΦΑΗΛ ΠΑΛΑΙΟΠΑΝΗΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΖΟΥΡΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΜΥΤΙΛΗΝΗ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2022



UNIVERSITY
OF THE AEGEAN



ARISTOTLE UNIVERSITY
OF THESSALONIKI



NATIONAL OBSERVATORY
OF ATHENS

**BI-INSTITUTIONAL POSTGRADUATE PROGRAM
NATURAL HAZARDS AND DISASTERS MITIGATION**

MASTER'S THESIS

**SURVEYING OF NEOTECTONIC STRUCTURES
AND MACRO-SEISMIC EFFECTS
ON THE VOLCANIC ROCKS OF WESTERN LESVOS.
A CASE STUDY:
THE EARTHQUAKE IN SKALOCHORI, LESVOS
(4.0 M_w) OF 15 APRIL 2021**

POSTGRADUATE STUDENT: RAFAIL PALAIOPANIS, GEOGRAPHER

SUPERVISOR: NIKOLAOS ZOUROS, PROFESSOR

MYTILENE
FEBRUARY 2022

*Σε όλους/ες τους/τις Δασκάλους/ες μου,
στη σύζυγό μου Αυγή
& στα παιδιά μας Δήμητρα, Μαρία και Γρηγόρη.*

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ
ΚΑΙ ΜΑΚΡΟ-ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ
ΣΤΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΛΕΣΒΟΥ.
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ:
ΣΕΙΣΜΟΣ ΣΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ ΛΕΣΒΟΥ
(4.0 M_w) ΤΗΣ 15^{ης} ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2021

ΡΑΦΑΗΛ ΠΑΛΑΙΟΠΑΝΗΣ
ΓΕΩΓΡΑΦΟΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής Νικόλαος Ζούρος, Επιβλέπων

Ομ. Καθηγητής Σπυρίδων Παυλίδης, Μέλος

Καθηγητής Νικόλαος Σουλακέλλης, Μέλος

ΜΥΤΙΛΗΝΗ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2022

Δήλωση Πνευματικών Δικαιωμάτων

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν.1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο «**Αποτύπωση νεοτεκτονικών δομών και μακρο-σεισμικών αποτελεσμάτων στα ηφαιστειακά πετρώματα της Δυτικής Λέσβου. Μελέτη περίπτωσης: Σεισμός Σκαλοχωρίου Λέσβου (4.0ML) της 15^{ης} Απριλίου 2021**», η οποία έχει εκπονηθεί στο **Τμήμα Γεωγραφίας** του Πανεπιστημίου Αιγαίου, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος **Καθηγητή κ. Νικόλαο Ζούρο** αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Υπογραφή Φοιτητή:

© Ραφαήλ Παλαιοπάνης, Γεωγράφος, Μυτιλήνη, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟ-ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΛΕΣΒΟΥ. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΣΕΙΣΜΟΣ ΣΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ ΛΕΣΒΟΥ (4.0 M_w) ΤΗΣ 15ης ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2021 – ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

© Rafail Palaiopanis, Geographer, Mytilene, 2022

All rights reserved.

SURVEYING OF NEOTECTONIC STRUCTURES AND MACRO-SEISMIC EFFECTS ON THE VOLCANIC ROCKS OF WESTERN LESVOS. A CASE STUDY: THE EARTHQUAKE AT SKALOCHORI, LESVOS (4.0 M_w) OF 15 APRIL 2021 – MASTER'S THESIS

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	XI
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	XII
<i>ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:</i>	xii
ABSTRACT	XIII
<i>KEYWORDS:</i>	xiii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	XIV
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	XIV
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ.....	XV
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	XVI
ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΙΣ	XX
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
<i>Διάγραμμα Ροής Εργασιών.....</i>	3
<i>Γεωλογική Χρονική Κλίμακα.....</i>	4
<i>Διεθνές Χρονοστρωματογραφικό Διάγραμμα</i>	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	7
1.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΈΝΝΟΙΕΣ	7
1.1.1 Σεισμός (Earthquake).....	7
1.1.2 Τάσεις (stress)	7
1.1.3 Σεισμογόνο Ρήγμα.....	8
1.1.4 Τύποι Ρηγμάτων	9
1.1.5 Κριτήρια Ταξινόμησης Ρηγμάτων.....	11
1.1.6 Σεισμικά Κύματα	14
1.1.7 Μέτρηση Σεισμών.....	15
1.1.8 Μηχανισμός γένεσης σεισμών.....	17
1.1.9 Καθορισμός Προσανατολισμού Διαρρήξεων	19
1.1.10 Συνοδά Γεωδυναμικά Φαινόμενα.....	20
1.1.11 Εκτίμηση Μακροσεισμικών Αποτελεσμάτων.....	22
1.1.12 Νεοτεκτονική	23
1.1.13 Φυσικοί Κίνδυνοι – Πολιτική Προστασία.....	23
1.1.14 Σεισμικότητα	24
1.1.15 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ)	25
1.1.16 Μελέτη Περίπτωσης.....	25
1.2 ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑ – ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ	26
1.2.1 Η Θεωρία των Λιθοσφαιρικών ή Τεκτονικών Πλακών.....	26
1.2.2 Ο Ελλαδικός Χώρος	28
1.2.3 Το Ελληνικό Τόξο.....	29
1.2.4 Ηφαιστειότητα στον Ελλαδικό Χώρο	32
1.3 ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ	33
1.3.1 Χρήσεις των Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους.....	34
1.3.2 Κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.....	35
1.3.2 Γεωαναφορά.....	36
1.3.3 Προδιαγραφές Ακρίβειας.....	38
1.3.4 Ψηφιοποίηση	41
1.3.5 Κατασκευή Μοντέλου Τριγωνικών Ακανόνιστων Δικτύων (TIN).....	43

1.3.6	Κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....		46
2.1	ΝΗΣΟΣ ΛΕΣΒΟΣ.....	46
2.1.1	Εισαγωγικά.....	46
2.1.2	Γεωλογία - Ηφαιστειότητα.....	47
2.1.3	Γεωτεκτονικό Καθεστώς.....	50
2.1.4	Ιστορική και Ενόργανη Σεισμικότητα	55
2.2	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	58
2.3	ΣΕΙΣΜΟΣ ΣΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ, 15 ^{ΗΕ} ΑΠΡΙΛΙΟΥ 2021.....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....		63
3.1	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΥΠΟΘΕΣΗΣ	63
3.2	ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΣΤΑΔΙΑ	63
3.2.1	Επισκόπηση Περιοχής	63
3.2.2	Αρχική Έρευνα Πεδίου	66
3.2.2	Κυρίως Έρευνα Πεδίου	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ		77
4.1	ΓΕΝΙΚΑ	77
4.2	ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	78
4.2.1	Γενικές Παρατηρήσεις	78
4.2.2	Ρέμα Τζιχράντας.....	82
4.2.2.1	Εικόνες 51 – 56.....	82
4.2.3	Ιερά Μονή Λειμώνος	83
4.2.3.1	Εικόνες 57 – 62.....	83
4.2.4	Επαρχιακή Οδός Φίλιας - Σκαλοχωρίου	84
4.2.4.1	Εικόνες 63 – 68.....	84
4.2.5	Οικισμός Σκαλοχωρίου	85
4.2.5.1	Εικόνες 69 – 74.....	85
4.2.6	Προφήτης Ηλίας Σκαλοχωρίου	86
4.2.6.1	Εικόνες 75 – 80.....	86
4.2.7	Άγιος Φανούριος	87
4.2.7.1	Εικόνες 81 – 86.....	87
4.2.8	Λατομείο.....	88
4.2.8.1	Εικόνες 87 – 92.....	88
4.2.9	Ύψωμα Μεγαλοβούνι	89
4.2.9.1	Εικόνες 93 – 98.....	89
4.2.10	Ιχθυοτροφεία.....	90
4.2.10.1	Εικόνες 99 – 104.....	90
4.2.11	Μπαλίνη – Αγία Μαρίνα	91
4.2.11.1	Εικόνες 105 – 110.....	91
4.2.12	Ηφαιστειακή Φλέβα Φίλιας.....	92
4.3	ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΟΜΕΣ	93
4.4	ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		97
5.1	ΜΑΚΡΟΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	97
5.2	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΚΕΝΤΡΩΝ.....	97
5.3	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣΤΡΟΦΟ ΡΗΓΜΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ.....	98
5.4	ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΦΛΕΒΑ ΦΙΛΙΑΣ.....	100
5.4	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	100
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ		105

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	109
ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	109
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	111
ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ	112
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	115

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τον κύκλο των μεταπτυχιακών μου σπουδών, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τον Ομ. Καθηγητή κ. Σπυρίδωνα Παυλίδη και τον Καθηγητή κ. Νικόλαο Σουλακέλλη, για τις γνώσεις, τις ιδέες και τις συμβουλές τους καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου των μαθημάτων του Δι-ιδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Φυσικοί Κίνδυνοι και Αντιμετώπιση Καταστροφών» καθώς και κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερω, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Νικόλαο Ζούρο για την αποδοχή του θέματος της εργασίας, τις παραινέσεις και συμβουλές του, τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις, τη συνεχή υποστήριξη – από την περίοδο των προπτυχιακών μου σπουδών – κυρίως όμως, για τις ενδιαφέρουσες και πολύτιμες ώρες έρευνας επί του πεδίου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω, όλους/ες τους/τις διδάσκοντες/σες του ΔΠΜΣ, τους κ.κ. Γιάννη Δήμου και Γαβριήλ Χιωτέλλη, μέλη ΕΤΕΠ του Τμήματος Γεωγραφίας χωρίς τη βοήθεια των οποίων η ολοκλήρωση του Προγράμματος θα ήταν ανέφικτη, εν μέσω της πανδημίας Covid-19, καθώς και την κ. Αργυρώ Βουνάτσου για τη γραμματειακή υποστήριξη και την άψογη συνεργασία που είχαμε σε όλη την περίοδο του ΔΜΠΣ.

Επιπρόσθετα, καθοριστική υπήρξε η συμβολή του υποψήφιου Διδάκτορα κ. Άγγελου Λαμπρακόπουλου για τον εντοπισμό πιθανών ρηγμάτων στην περιοχή μελέτης, τον οποίο ευχαριστώ θερμά, όπως και τον Δρ κ. Χρήστο Ευαγγελίδη, κύριο ερευνητή του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για την άμεση ανταπόκρισή του για την επίλυση του μηχανισμού γένεσης του κυρίως σεισμού.

Τέλος, θα ήθελα να απευθύνω ιδιαίτερες ευχαριστίες στη σύζυγό μου Αυγή για την ανοχή και την αντοχή της όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου καθώς και στα παιδιά μας, τη Δήμητρα, τη Μαρία και τον Γρηγόρη για τις ιδιαίτερα δημιουργικές ώρες κοινής μελέτης που μου χάρισαν!

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Δι-ιδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Φυσικοί Κίνδυνοι και Αντιμετώπιση Καταστροφών» αποτέλεσε ο εντοπισμός, η καταγραφή και η χαρτογραφική αποτύπωση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων του σεισμού Σκαλοχωρίου και νεοτεκτονικών δομών στην ευρύτερη περιοχή. Η σεισμική δόνηση ήταν μεγέθους 4.0 M_w, και προκλήθηκε στις 07:10:19 π.μ. (τοπική ώρα) της 15^{ης} Απριλίου 2021.

Η έρευνα ξεκίνησε αμέσως μετά το σεισμό – με προκαταρκτικές επισκέψεις στο πεδίο – έτσι ώστε να μην απολεσθούν ή αλλοιωθούν τυχόν τεκμήρια από την πάροδο του χρόνου ή τις εξωγενείς επιδράσεις. Αρχικά, προσδιορίστηκε η περιοχή μελέτης με την κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους και τη χρήση του Google Earth, λαμβάνοντας υπόψη το επίκεντρο του σεισμού, το υδρογραφικό δίκτυο, το μορφοανάγλυφο και το γεωτεκτονικό καθεστώς της περιοχής. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε έρευνα πεδίου, εντοπίστηκαν τεκμήρια που σχετίζονται με τη σεισμική δραστηριότητα (διαρρήξεις, κατολισθήσεις, καταπτώσεις κ.α.) τα οποία και φωτογραφήθηκαν λαμβάνοντας και την αντίστοιχη γεωγραφική πληροφορία (συντεταγμένες) για κάθε επιμέρους θέση. Αφού τεκμηριώθηκε η γενική διεύθυνση των διαρρήξεων, χρησιμοποιήθηκε στην περαιτέρω έρευνα για τον εντοπισμό πιθανού ρήγματος.

Συμπερασματικά, η περιοχή παρουσιάζει πλήθος μακροσεισμικών αποτελεσμάτων που πιθανά σχετίζονται με το σεισμικό γεγονός ενώ και η παρουσία πιθανού ενεργού ρήγματος ταυτίζεται με το υφιστάμενο καθεστώς τάσεων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Σεισμός, Τεκτονική, Ρήγματα, Φυσικοί Κίνδυνοι, Αντιμετώπιση Καταστροφών, Λέσβος

Abstract

The object of this postgraduate thesis, carried out in the framework of the Inter-Institutional Postgraduate Program “Natural Hazards and Disasters Mitigation”, was the identification, recording and cartographic mapping of the macro-seismic effects of the earthquake in Skalochori and the neotectonic structures in the wider area. The quake was of magnitude 4.0 Mw and occurred at 07:10:19 a.m. (local time) of April 15, 2021.

The research began shortly after the quake - with preliminary site visits - so that any presumptions are not lost or altered over time or by exogenous effects. Initially, the study area was identified with the construction of a Digital Terrain Model and the use of Google Earth, considering the epicenter of the earthquake, the hydrographic network, the terrain and the geotectonic regime of the area. A field search was then conducted. Proof related to seismic activity were identified (ruptures, landslides, rock falls, etc.) which were photographed and geotagged for each location. Once the general direction of the ruptures was documented, it was used in further research to locate a possible fault.

In conclusion, the area presents several macro-seismic effects that are possibly related to the seismic event, while the presence of a possible active fault is identified with the existing trend regime.

KEYWORDS:

Earthquake, Tectonic, Faults, Natural Hazards, Disasters Mitigation, Lesbos

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Γεωλογική Χρονική Κλίμακα, Πηγή: Ίδια επεξεργασία από (Παυλίδης, 2007)	4
Πίνακας 2 Λεπτομέρεια του Καινοζωικού Αιώνα, Πηγή: Ίδια επεξεργασία από (Παυλίδης, 2007)	5
Πίνακας 3 Δωδεκαβάθμια Κλίμακα Mercalli – Sieberg, Πηγή: Ίδια επεξεργασία από (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ.)	22
Πίνακας 4 Μετατροπή συντεταγμένων σημείων ελέγχου	37
Πίνακας 5 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5618/8	39
Πίνακας 6 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5628/2	39
Πίνακας 7 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5629/1	40
Πίνακας 8 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5619/7	40
Πίνακας 9 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5629/3	40
Πίνακας 10 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5628/4	40
Πίνακας 11 Ρυθμίσεις Ψηφιοποίησης.....	42
Πίνακας 12 Σεισμικότητα Νήσου Λέσβου	56
Πίνακας 13 Σεισμική ακολουθία 15ης Ιουνίου 2021, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021)	64
Πίνακας 14 Κλίσεις Τυπικής Έλλειψης Επικέντρων.....	98
Πίνακας 15 Εστιακές Παράμετροι.....	101

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 Διάγραμμα Ροής Εργασιών	3
Σχήμα 2 Συνιστώσες Τάσης, Πηγή (Παυλίδης, 2016).....	8
Σχήμα 3 Δίκτυο Schmidt, Πηγή: (Παπαζάχος, et al., 2019).....	19
Σχήμα 4 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου των ορθών διεδρων γωνιών. Πηγή: Τροποποιημένο από (Παυλίδης, 2016).....	19
Σχήμα 5 Τριγωνισμός Delaunay, Πηγή: By Gjacquenot - Own work, File:Delaunay circumcircles.png (Nü es), CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30370476	34

Κατάλογος Χαρτών

Χάρτης 1 Ισοϋψών και Σημείων	42
Χάρτης 2 Περιοχή Μελέτης.....	46
Χάρτης 3 Γεωλογικός χάρτης της Λέσβου (Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, 2015)	48
Χάρτης 4 Μορφοτεκτονικός Χάρτης Λεκάνης Σκύρου & Δυτικών Περιθωρίων Λέσβου, Πηγή: (Νομίκου, et al., 2021)	51
Χάρτης 5 Σεισμικότητα και Ενεργά ρήγματα στο Βόρειο Αιγαίο, Πηγή: (Εργαστήριο Χαρτογραφίας & Γεωπληροφορικής, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2008)....	51
Χάρτης 6 Κύρια ενεργά ρήγματα στη νήσο Λέσβο, Πηγή: (Chatzipetros, et al., 2013)	54
Χάρτης 7 Ενεργά Ρήγματα στο Αιγαίο, Πηγή δεδομένων: (GreDaSS, 2021)	55
Χάρτης 8 Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού.....	59
Χάρτης 9 Περιοχή Μελέτης.....	59
Χάρτης 10 Ενεργά και πιθανά ενεργά ρήγματα, Πηγή: (Pavlidis, et al., 2009)	61
Χάρτης 11 Χάρτης Αισθητότητας, Πηγή: (EMSC, 2021).....	62
Χάρτης 12 Αυτόματη λύση Γεωδυναμικού Ινστιτούτου	64
Χάρτης 13 Επίκεντρα σεισμών	65
Χάρτης 14 Περιοχές αλλαγής πορείας ρέματος Τζιχράντας	66
Χάρτης 15 Διαδρομές - Περιοχές ενδιαφέροντος.....	67
Χάρτης 16 Πιθανές Διευθύνσεις Διαρρήξεων	68
Χάρτης 17 Θέσεις ενδείξεων μακροσεισμικών φαινομένων	78
Χάρτης 18 Θέσεις ενδείξεων επί γεωλογικού χάρτη	81
Χάρτης 19 Ενδείξεις περιοχής ρέματος Τζιχράντας.....	82
Χάρτης 20 Ενδείξεις περιοχής Ιεράς Μονής Λειμώνος	83
Χάρτης 21 Ενδείξεις περιοχής Επαρχιακής Οδού Φίλιας - Σκαλοχωρίου	84
Χάρτης 22 Ενδείξεις περιοχής οικισμού Σκαλοχωρίου.....	85
Χάρτης 23 Ενδείξεις περιοχής Προφήτη Ηλία Σκαλοχωρίου	86
Χάρτης 24 Ενδείξεις περιοχής Αγίου Φανουρίου	87
Χάρτης 25 Ενδείξεις περιοχής Λατομείου.....	88
Χάρτης 26 Ενδείξεις περιοχής Υψώματος Μεγαλοβουνίου.....	89
Χάρτης 27 Ενδείξεις περιοχής Ιχθυοτροφείων	90
Χάρτης 28 Ενδείξεις Μπαλίνης – Αγίας Μαρίνας	91
Χάρτης 29 Θέσεις επικέντρων	96
Χάρτης 30 Γενική Διεύθυνση Διαρρήξεων	97
Χάρτης 31 Κλίσεις τυπικών ελλείψεων επικέντρων	98
Χάρτης 32 Πιθανή προέκταση αριστερόστροφο ρήγματος.....	99
Χάρτης 33 Ηφαιστειακή Φλέβα Φίλιας.....	100
Χάρτης 34 Χάρτης γραμμικών χαρακτηριστικών μορφοανάγλυφου. Πηγή: (Soulakellis, et al., 2006)	101
Χάρτης 35 Χάρτης Ρηγμάτων (κόκκινο) & Τομών (μαύρο), Πηγή: (Μουρουζίδου, 2021) .	102
Χάρτης 36 Πιθανά Ρήγματα	107

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Διεθνές Χρονοστρωματογραφικό Διάγραμμα, Πηγή: (ICC, 2021)	6
Εικόνα 2 Σχηματική απεικόνιση εστίας, σειсмоγόνου ρήγματος, επίκεντρου, Πηγή: (ΟΑΣΠ, 2007)	8
Εικόνα 3 Τύποι ρηγμάτων, Πηγή: (ΟΑΣΠ, 2007)	10
Εικόνα 4 Αναγνώριση ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης, Πηγή: (Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, χ.χ.)	11
Εικόνα 5 Είδη Σεισμικών Κυμάτων, Πηγή: Τροποποιημένο από (Καλογεράς & Κτενίδου, 2018)	14
Εικόνα 6 Σεισμόγραμμα σεισμολογικού σταθμού Σιγρίου κατά τον σεισμό της Νότιας Λέσβου της 12 ^{ης} Ιουνίου 2017, Πηγή: (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2017) .	15
Εικόνα 7 Μηχανισμός γένεσης σεισμού, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ.)	17
Εικόνα 8 Κανονικό ρήγμα και μηχανισμός γένεσης, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ.)	18
Εικόνα 9 Ανάστροφο ρήγμα και μηχανισμός γένεσης, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ.)	18
Εικόνα 10 Ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και μηχανισμός γένεσης, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ.)	19
Εικόνα 11 Κυριότερες λιθοσφαιρικές πλάκες και κινήσεις αυτών, Πηγή: (Φωτόδεντρο, χ.χ.)	26
Εικόνα 12 Παλαιογεωγραφία, Πηγή: (Τμήμα Γεωλογίας - ΑΠΘ, χ.χ.)	27
Εικόνα 13 Γεωτεκτονικές ζώνες, Πηγή: (www.orykta.gr/ , χ.χ.)	29
Εικόνα 14 Κινήσεις λιθοσφαιρικών πλακών στην περιοχή του Αιγαίου, Πηγή: (Μουντράκης, χ.χ.)	30
Εικόνα 15 Χαρακτηριστικά Ενεργούς Τεκτονικής, Πηγή: (Μουντράκης, χ.χ.)	31
Εικόνα 16 Διαδοχικές μετατοπίσεις της ηφαιστειακής δραστηριότητας, Πηγή: (Μουντράκης, 2010)	32
Εικόνα 17 Γεωαναφορά Φύλλων Χάρτη	41
Εικόνα 18 Μοντέλο Τριγωνικών Ακανόνιστων Δικτύων (TIN)	43
Εικόνα 19 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (10μ.X10μ.)	44
Εικόνα 20 Τρισδιάστατη απεικόνιση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, Άποψη από Νότο.....	45
Εικόνα 21 Τρισδιάστατη απεικόνιση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, Άποψη από Βορρά ...	45
Εικόνα 22 Τα τέσσερα τεκτονικά γεγονότα, (α) το παλιότερο τεκτονικό γεγονός (P1), (β) η αμέσως επόμενη φάση (P2), (γ) η φάση (P3) και τέλος στο (δ) η νεότερη φάση (P4)	53
Εικόνα 23 Λύσεις μηχανισμών γένεσης επιφανειακών σεισμών M>5,5 (1953-1999), Πηγή: (Kyratzi & Louvari, 2003)	55
Εικόνα 24 Τρισδιάστατη απεικόνιση περιοχής μελέτης, Πηγή: (Google Earth Pro, 2021)	58
Εικόνα 25 Απόσπασμα Γεωλογικού Χάρτη Ελλάδας, Φύλλο Μήθυμνα, Πηγή: (Hecht, 1974)	60
Εικόνα 26 Πληροφορίες σεισμού, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021)	62
Εικόνα 27 Νότια πλευρά Ακρωτηρίου Πετεινού	68
Εικόνα 28 Νότια πλευρά παραλίας Τζιχράντας	68

Εικόνα 29 Λεπτομέρεια πυροκλαστικών βόρειας πλευράς παραλίας Κόκκινα (Καλό λιμάνι)	69
Εικόνα 30 Λεπτομέρεια βόρειου πρανού, Κάστρου Αγίων Θεοδώρων	69
Εικόνα 31 Παραλία περιοχής Ξηρόλιμνης (νοτίως Ακρωτηρίου Πετεινού)	69
Εικόνα 32 Καταπτώσεις βράχων σε πρανές δακτινικής λάβας	70
Εικόνα 33 Διαρρήξεις στην κορυφή του πρανού	70
Εικόνα 34 Αποκόλληση τεμάχους	71
Εικόνα 35 Διάρρηξη επί πρανού	71
Εικόνα 36 Αποκόλληση τεμαχών, καταπλάκωση φυτών	72
Εικόνα 37 Παλαιότερη διάρρηξη	72
Εικόνα 38 Γραμμική εμφάνιση διάρρηξης και καταπτώσεων (Λατομείο)	72
Εικόνα 39 Πιθανό παλαιότερο ρήγμα (Λατομείο)	72
Εικόνα 40 Γραμμική εμφάνιση διαρρήξεων επί του εδάφους (Α)	73
Εικόνα 41 Γραμμική εμφάνιση διαρρήξεων επί του εδάφους (Β)	73
Εικόνα 42 Γραμμική εμφάνιση διάρρηξης επί βράχου. Πιθανή ύπαρξη παλαιότερης (Γ)	73
Εικόνα 43 Γραμμική εμφάνιση διαρρήξεων επί βράχου (Δ)	73
Εικόνα 44 Διατάραξη ξερολιθιάς (Ε)	74
Εικόνα 45 Πιθανή παλαιά διάρρηξη (ΣΤ)	74
Εικόνα 46 Διάρρηξη	74
Εικόνα 47 Διάρρηξη	74
Εικόνα 48 Διαρρήξεις - Καταπτώσεις	75
Εικόνα 49 Παλαιό ρήγμα	75
Εικόνα 50 Επεξεργασία θέσεων στο ArcGIS	77
Εικόνα 51	82
Εικόνα 52	82
Εικόνα 53	82
Εικόνα 54	82
Εικόνα 55	82
Εικόνα 56	82
Εικόνα 57	83
Εικόνα 58	83
Εικόνα 59	83
Εικόνα 60	83
Εικόνα 61	83
Εικόνα 62	83
Εικόνα 63	84
Εικόνα 64	84
Εικόνα 65	84
Εικόνα 66	84
Εικόνα 67	84
Εικόνα 68	84
Εικόνα 69	85
Εικόνα 70	85
Εικόνα 71	85

Εικόνα 72	85
Εικόνα 73	85
Εικόνα 74	85
Εικόνα 75	86
Εικόνα 76	86
Εικόνα 77	86
Εικόνα 78	86
Εικόνα 79	86
Εικόνα 80	86
Εικόνα 81	87
Εικόνα 82	87
Εικόνα 83	87
Εικόνα 84	87
Εικόνα 85	87
Εικόνα 86	87
Εικόνα 87	88
Εικόνα 88	88
Εικόνα 89	88
Εικόνα 90	88
Εικόνα 91	88
Εικόνα 92	88
Εικόνα 93	89
Εικόνα 94	89
Εικόνα 95	89
Εικόνα 96	89
Εικόνα 97	89
Εικόνα 98	89
Εικόνα 99	90
Εικόνα 100	90
Εικόνα 101	90
Εικόνα 102	90
Εικόνα 103	90
Εικόνα 104	90
Εικόνα 105	91
Εικόνα 106	91
Εικόνα 107	91
Εικόνα 108	91
Εικόνα 109	91
Εικόνα 110	91
Εικόνα 111	92
Εικόνα 112	92
Εικόνα 113	92
Εικόνα 114	92
Εικόνα 115	92

Εικόνα 116	92
Εικόνα 117	92
Εικόνα 118	92
Εικόνα 119	92
Εικόνα 120 Κανονικό Ρήγμα Περιοχή Ρέμα Τζιχράντας	93
Εικόνα 121 Κανονικό ρήγμα Περιοχή Λατομείο	93
Εικόνα 122	93
Εικόνα 123	93
Εικόνα 124	94
Εικόνα 125	94
Εικόνα 126	94
Εικόνα 127	94
Εικόνα 128	94
Εικόνα 129	95
Εικόνα 130 Μηχανισμός γένεσης Γεωδυναμικού Ινστιτούτου	96
Εικόνα 131 Μηχανισμός γένεσης Τμήματος Γεωλογίας Πανεπιστημίου Αθηνών	96
Εικόνα 132 Ροδοδιάγραμμα παρατάξεων γραμμώσεων ρήγματος.....	99
Εικόνα 133 Τάσεις εφελκυσμού και συμπίεσης	99
Εικόνα 134 Κάθετη προβολή τάσεων	99
Εικόνα 135 Προσανατολισμός Διαρρήξεων.....	99
Εικόνα 136 Ροδοδιάγραμμα Παρατάξεων των Ρηγμάτων.....	102
Εικόνα 137 Τρισδιάστατο Μοντέλο Ρήγματος.....	107

Συντομεύσεις

cm	Εκατοστά
DEM	Digital Elevation Model
DSM	Digital Surface Model
EMSC	Ευρωπαϊκό Μεσογειακό Σεισμολογικό Κέντρο
dpi	Dots per inch
Hatt	Παλιό προβολικό σύστημα Ελλάδας
Km ²	Τετραγωνικά χιλιόμετρα
m	Μέτρα
Ma	Εκατομμύρια χρόνια από το παρόν
M _L	Τοπικό Μέγεθος Σεισμού
Raster data models	Μοντέλα Πλεγματικών Δεδομένων
TIN	Triangulated Irregular Network
TRMS	Total Root Mean Square
USGS	Αμερικανική Γεωλογική Υπηρεσία
ΓΣΠ	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
ΓΥΣ	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
ΔΑΤ	Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων
ΔΠΜΣ	Δι-ιδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
ΕΑΓΜΕ	Ελληνική Αρχή Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών
ΕΓΣΑ '87	Ελληνικό Γεωδαιτικό Συστήματος Αναφοράς 1987
εκ.	Εκατομμύρια
ΕΤΕΠ	Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακό Προσωπικό
τ. χλμ.	Τετραγωνικά χιλιόμετρα
ΦΧ	Φύλλο Χάρτη
χλμ.	Χιλιόμετρα
ΨΜΕ	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, Ψηφιακό Μοντέλο Επιφάνειας

Εισαγωγή

Η περιοχή του Βορείου Αιγαίου αποτελεί τμήμα της μικρο-πλάκας του Αιγαίου, επηρεαζόμενη από τον νότιο κλάδο του ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης της Ανατολίας. Εμφανίζει έντονη σεισμικότητα με ιστορικούς ισχυρούς σεισμούς (>6 M).

Στο νησί της Λέσβου υπάρχουν εβδομήντα τρεις (73) οικισμοί με ποικιλία κτηριακού αποθέματος. Κύριες κατηγορίες αποτελούν οι παλιές κατασκευές με φέρουσα τοιχοποιία από λιθοδομή, σύγχρονες κατασκευές από σκυρόδεμα καθώς και μνημειακές κατασκευές. Η ανομοιογένεια του αποθέματος αφορά την ηλικία, το υλικό και την ποιότητα κατασκευής, το ιδιοκτησιακό καθεστώς και την κοινωνικοοικονομική διαστρωμάτωση των χρηστών. Επιπρόσθετα, παρατηρούνται πρόσθετες παρεμβάσεις στα κελύφη καθώς και ελλιπής συντήρηση εξαιτίας της οικονομικής κρίσης ενώ αρκετά κτίρια παραμένουν κενά για διάφορους λόγους.

Η ηλικιακή διαστρωμάτωση του πληθυσμού παρουσιάζει σαφή τάση γήρανσης. Το ποσοστό ατόμων ηλικίας 65⁺ στον νομό Λέσβου ανέρχεται περίπου στο 25% υπερβαίνοντας τον εθνικό μέσο όρο (Γαβαλάς, 2015) με σαφή χωρική κατανομή μεταξύ μικρών οικισμών και μεγαλύτερων αστικών κέντρων.

Η αυξημένη σεισμική δραστηριότητα της ευρύτερης περιοχής και ο εκτιμώμενος υψηλός βαθμός τρωτότητας τεκμηριώνουν την ανάγκη για την αναλυτική έρευνα της ενεργού τεκτονικής της περιοχής και την καταγραφή και μελέτη των επιπτώσεων ενός σεισμικού γεγονότος με στόχους την εκπαίδευση/ενημέρωση του τοπικού πληθυσμού και τον καλύτερο και έγκαιρο σχεδιασμό για την αντιμετώπιση μιας πιθανής καταστροφής.

Σε αυτό το πλαίσιο, η εκδήλωση σεισμικού γεγονότος στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Σκαλοχωρίου της νήσου Λέσβου, τοπικού μεγέθους 4.0 M_w, στις 07:10 π.μ. της 15^{ης} Απριλίου 2021 αποτέλεσε την αφορμή για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ο σεισμός ήταν επιφανειακός (5 χλμ.) με επίκεντρο στην ξηρά (39.3096, 26.0834) και επί ηφαιστειακών πετρωμάτων (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021).

Ως αρχική ερευνητική υπόθεση τίθεται η πιθανότητα πρόκλησης μορφογενετικών αποτελεσμάτων στην περιοχή – παρά το μικρό μέγεθος του σεισμού –, με επιμέρους στόχους

τον εντοπισμό, την καταγραφή, την χαρτογραφική αποτύπωση και την αξιολόγησή τους καθώς και τον εντοπισμό πιθανού ρήγματος.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται χωρίζεται σε τρία διακριτά στάδια: Αρχικά, διατυπώνεται η ερευνητική ιδέα και καθορίζεται η ερευνητική διαδικασία για τη συλλογή πληροφοριών από το πεδίο. Πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση καθορισμός και επισκόπηση της περιοχής μελέτης με την κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (ΨΜΕ) και τη χρήση του Google Earth, λαμβάνοντας υπόψη το επίκεντρο του σεισμού, το υδρογραφικό δίκτυο, το μορφοανάγλυφο και το γεωτεκτονικό καθεστώς της περιοχής. Στη συνέχεια, οργανώνεται η έρευνα πεδίου για τη συλλογή των τεκμηρίων που σχετίζονται με τη σεισμική δραστηριότητα (διαρρήξεις, κατολισθήσεις, καταπτώσεις κ.α.) τα οποία φωτογραφίζονται λαμβάνοντας και την αντίστοιχη γεωγραφική πληροφορία (συντεταγμένες) για κάθε επιμέρους θέση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει διαρκής ανατροφοδότηση μεταξύ όλων των σταδίων, ταξινόμηση, επεξεργασία και ανάλυση των στοιχείων καθώς και ευρεία χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), που επιτρέπουν την άμεση χαρτογραφική αποτύπωση της πληροφορίας και την εξαγωγή προκαταρκτικών συμπερασμάτων που χρησιμοποιούνται κατά την εξέλιξη της έρευνας (Σχήμα 1). Μετά τη συνολική επεξεργασία των συλλεχθέντων τεκμηρίων ακολουθεί επιτόπια έρευνα με σκοπό τον εντοπισμό πιθανού ρήγματος και τελικό στάδιο αποτελεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων όλης της εργασίας.

Η εργασία δομείται σε πέντε κεφάλαια, ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο ορίζεται το θεωρητικό πλαίσιο και γίνεται αναφορά σε βασικές έννοιες, που διαπραγματεύεται η εργασία, όπως, σεισμός, μεγέθη, μηχανισμός γένεσης, ρήγματα, διακινδύνευση, τρωτότητα, πολιτική προστασία, κ.α. Επίσης, αναφέρονται εισαγωγικές πληροφορίες που σχετίζονται με την παλαιογεωγραφία και τη γεωτεκτονική εξέλιξη σε παγκόσμια και εθνική κλίμακα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται γενικότερα στοιχεία που αφορούν την περιοχή μελέτης, το γεωτεκτονικό καθεστώς, την ιστορική σεισμικότητα, το κτιριακό απόθεμα και το κοινωνικοοικονομικό καθεστώς, παράγοντες που συνθέτουν το γενικότερο προφίλ της επικινδυνότητας της περιοχής.

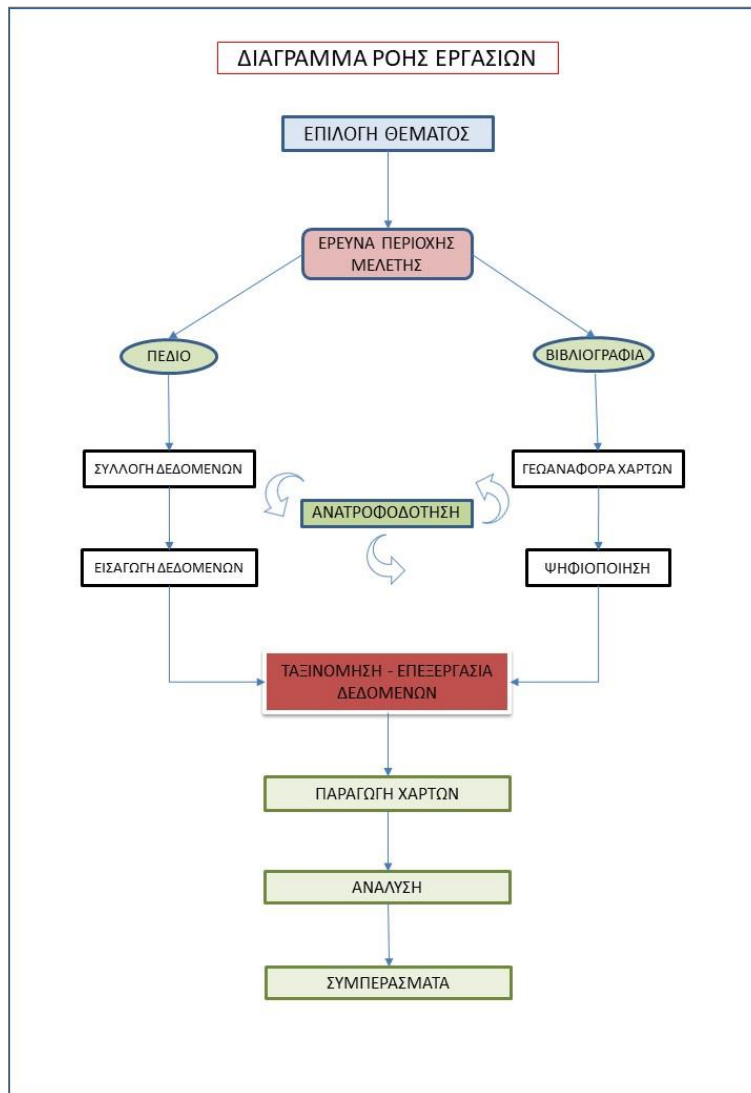
Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σε όλα τα στάδια της έρευνας καθώς και οι διάφορες διαδικασίες που έλαβαν χώρα στο πεδίο και το εργαστήριο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία της εργασίας υπαίθρου και των σεισμολογικών δεδομένων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας και η εργασία ολοκληρώνεται με την καταγραφή συνοπτικών συμπερασμάτων και προτάσεων για την περαιτέρω μελέτη της περιοχής.

Τέλος, στο Παράρτημα καταχωρούνται οι λύσεις των μηχανισμών γένεσης από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών και το Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Διάγραμμα Ροής Εργασιών



Σχήμα 1 Διάγραμμα Ροής Εργασιών

Γεωλογική Χρονική Κλίμακα

Πίνακας 1 Γεωλογική Χρονική Κλίμακα, Πηγή: Ίδια επεξεργασία από (Παυλίδης, 2007)

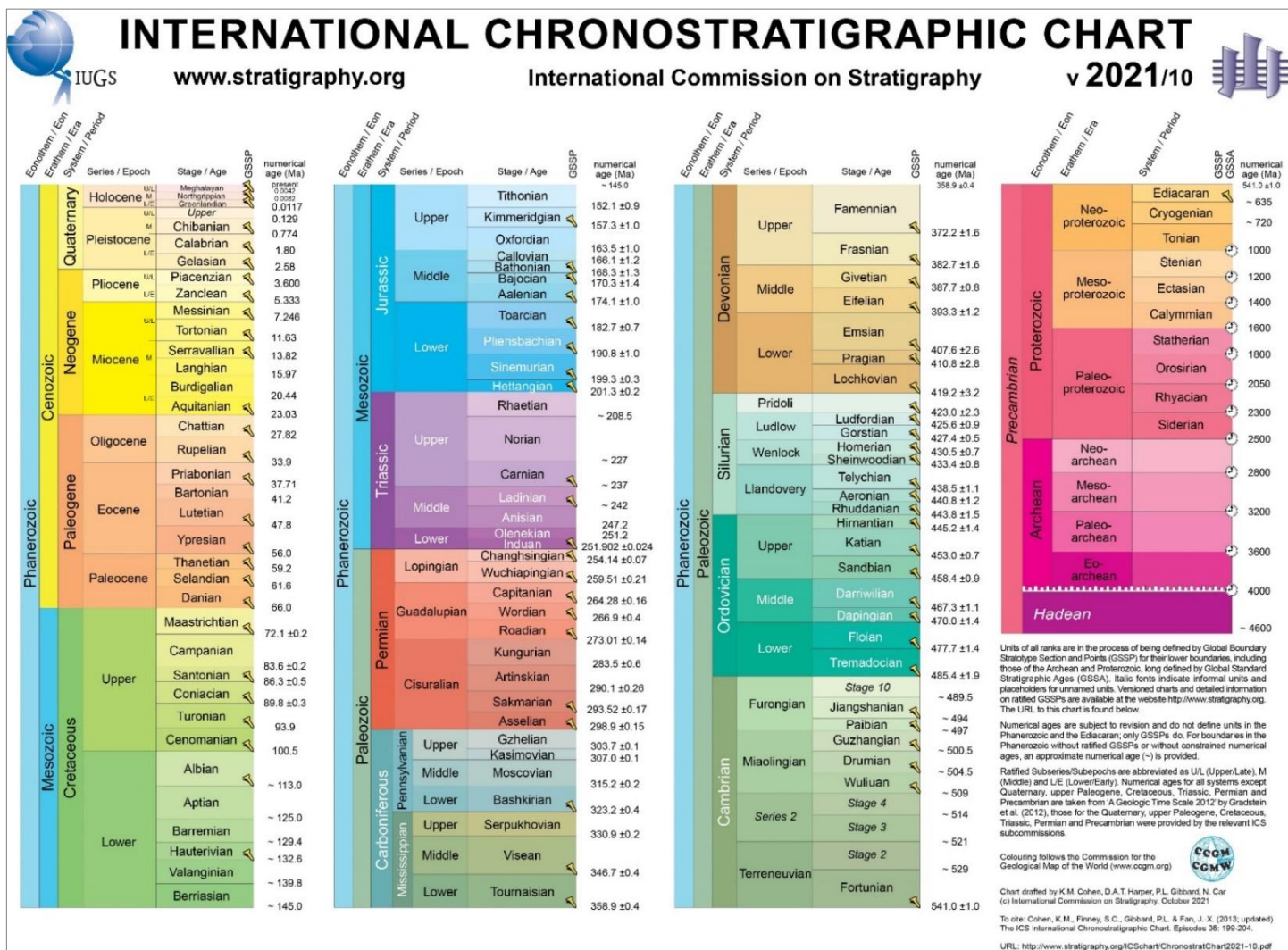
ΑΙΩΝΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (εκ. έτη πριν)	ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΚΑΙΝΟ- ΖΩΙΚΟΣ	ΤΕΤΑΡΤΟ- ΓΕΝΗΣ	2,58-Σήμερα	Αρχική περίοδος πλειστόκαινος (παλαιολιθική) μεγάλη εξάπλωση των παγετώνων, μετανάστευση μεγάλων ομάδων θηλαστικών και εξαφάνιση ειδών. Εμφάνιση του ανθρώπου. Έπειτα η ολόκαινος (σύγχρονη περίοδος). Σταματούν οι κατακόρυφες μετακινήσεις του φλοιού και η ξηρά με την χλωρίδα και την πανίδα παίρνουν την οριστική τους διαμόρφωση. Ο άνθρωπος περνά από την νεολιθική εποχή στην εποχή του χαλκού, του ορείχαλκου και στην σημερινή του σιδήρου.
	ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ	66-2,58	Έντονες ορογενετικές διαδικασίες. Δημιουργία Πυρηναίων, Ιμαλαίων, Καρπάθων κ.α. οροσειρών. Σχηματισμός ασβεστολιθικών και ηφαιστειογενών πετρωμάτων. Αποδήμιση θηλαστικών από την Αφρική και την Ασία προς την Ευρώπη. Δημιουργία της Ερυθράς Θάλασσας και εμφάνιση του συγγενέστερου προς τον άνθρωπο ζώου, του αυστραλοπίθηκου.
ΜΕΣΟ- ΖΩΙΚΟΣ	ΚΡΗΤΙΔΙΚΗ	135-66	Περιορισμός της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Απέραντες λιμνοθάλασσες, μεγάλες συγκεντρώσεις ασβεστολιθικών αποθεμάτων ριζόποδων και φυτών. Χλωρίδα: φοίνικες, ιτιές, βελανιδιές και λεύκες. Πανίδα: έντονη παρουσία ερπετών και εμφάνιση μαρσιποφόρων.
	ΙΟΥΡΑΣΙΚΗ	205-135	Στο νότιο τμήμα της Γκοντβάνια, ρηγματώση και απαρχή της δημιουργίας του Ινδικού Ωκεανού. Κυριαρχία των δεινοσαύρων και άλλων ερπετών. Εμφάνιση μικρών μαστοφόρων και πρώτων πτηνών «αρχαιοπτέρυξ», «αρχαιόρνις».
	ΤΡΙΑΣΙΚΗ	250-205	Τρία διαφορετικά στρώματα κοιτασμάτων. Φάση ξηράς, φάση λιμναία, φάση βαθιών θαλασσών. Εξαφάνιση πολλών ειδών, εμφάνιση νέων όπως τα θηλαστικά, οι χελώνες, τα κοραλλιογενή.
ΠΑΛΑΙΟ- ΖΩΙΚΟΣ	ΠΕΡΜΙΑ	290-250	Επέκταση της ξηράς λόγω της ανύψωσης και υποχώρησης των νερών στη Β. Αμερική. Ανεξαρτητοποίηση της χερσαίας ζωής. Πολλά είδη αποκτούν πνεύμονες και διαβιούν αποκλειστικά στην ξηρά.
	ΛΙΘΑΝΘΡΑ- ΚΟΦΟΡΟΣ	355-290	Τεράστια ανάπτυξη της χλωρίδας. Εμφάνιση κωνοφόρων και ψηλών φτερών. Παρουσία πρώτων ερπετών και εντόμων.
	ΔΕΒΟΝΙΟΣ	410-355	Τεράστιες ανυψώσεις στις περιοχές Κίνας, Καναδά, Γροιλανδίας και Νορβηγίας. Αλλοίωση του περιγράμματος της Τιθός. Εμφάνιση ψαριών με είδος πνεύμονα που επιτρέπει την έρπηση στην ξηρά. Πλούσια βλάστηση από φτέρες, μύκητες και βρύα.
	ΣΙΛΟΥΡΙΟΣ	510-410	Σημαντικές γεωλογικές κινήσεις. Δημιουργία τεράστιων πεδιάδων και τμημάτων της Ευρώπης και της Αφρικής. Ανάπτυξη της ζωής στην ξηρά φυτών (λυκόποδες) και ζώων (σκορπιοί). Ζώα με σπονδυλική στήλη (ιχθυόμορφα όπως τα χέλια). Διαφοροποίηση ειδών στη θάλασσα και ανάπτυξη φυκιών.

ΚΑΜΒΡΙΟΣ	570-510	Έλλειψη ορογενετικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας. Ανύψωση τμημάτων ξηράς γύρω από την Μεσόγειο. Κάλυψη με νερά μεγάλων τμημάτων της Αμερικής. Ύπαρξη φυκιών με ασβεστόδη δομή και διάφορα ζώα μέσα στη θάλασσα (μαλάκια, εχινόδερμα, γαστερόποδα). Χαρακτηριστικό είδος οι «τρλοβίτες» που το σώμα τους χωριζόταν σε τρεις λοβούς από δύο επιμήκεις ραβδώσεις.
ΑΡΧΑΪΚΟΣ	3800-570	Από τον σχηματισμό του φλοιού μέχρι την εμφάνιση των πρώτων τύπων ζωής οι οποίοι άφησαν απολιθώματα. Ήπειρος Γκοντβάνα, Τηθύς Θάλασσα. Εμφάνιση ζωής μέσα στο νερό. Προς το τέλος εμφάνιση σχετικά εξελιγμένης χλωρίδας και πανίδας. Απολιθώματα από υδρόβια είδη.
ΚΟΣΜΙΚΟΣ	4.567-3800	Από τη γένεση της γης μέχρι τον πιθανό σχηματισμό του φλοιού. Απουσία γεωλογικών δεδομένων. Προς το τέλος δημιουργία πρώτων ηπείρων και ωκεανών, απουσία ζωής.

Πίνακας 2 Λεπτομέρεια του Καινοζωικού Αιώνα, Πηγή: Ίδια επεξεργασία από (Παυλίδης, 2007)

ΑΙΩΝΑΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΕΠΟΧΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (εκ. έτη πριν)	ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΚΑΙΝΟ- ΖΩΙΚΟΣ	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΗΣ	ΟΛΟΚΑΙΝΗ	0,0117	Εμφάνιση του homo sapiens
		ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΗ	2,58	Εξάλειψη πολλών θηλαστικών λόγω παγετωνικών επεισοδίων
	ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ	ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΗ	5,3	Εξάπλωση λιβαδιών. Εμφάνιση μεγάλων θηλαστικών
		ΜΕΙΟΚΑΙΝΗ	23,8	
		ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΗ	33,7	
		ΗΩΚΑΙΝΗ	54,8	
		ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΗ	65	

Διεθνές Χρονοστρωματογραφικό Διάγραμμα



Εικόνα 1 Διεθνές Χρονοστρωματογραφικό Διάγραμμα, Πηγή: (ICC, 2021)

Κεφάλαιο 1: Θεωρητικό πλαίσιο

1.1 Βασικές Έννοιες

Η βαρύτητα και η εσωτερική θερμότητα της Γης προκαλούν κινήσεις στον φλοιό και τον μανδύα που αποτελούν την κύρια πηγή ανάπτυξης δυνάμεων και πεδίων τάσεων, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ρηγμάτων και την εκτόνωση της ενέργειας με τη μορφή σεισμικών κυμάτων (Παυλίδης, 2016).

1.1.1 Σεισμός (Earthquake)

Σεισμός (*earthquake*) ονομάζεται κάθε δόνηση του εδάφους (*ground shaking*) που παράγεται στο εσωτερικό της γης από φυσικά αίτια.

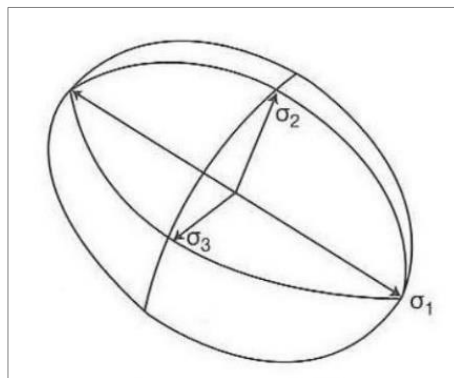
Τα αίτια πρόκλησης σεισμών είναι τρία και σχετίζονται με τη *διάρρηξη (rupture)*, δηλαδή την απότομη θραύση των πετρωμάτων, την άνοδο του μάγματος στα ανώτερα στρώματα του στερεού φλοιού της γης και την κατάπτωση ογκόλιθων σε υπόγεια έγκοιλα σε μικρό βάθος από την επιφάνεια της γης.

Ανάλογα με το αίτιο πρόκλησης οι σεισμοί διακρίνονται σε *τεκτονικούς (tectonic earthquakes)*, *ηφαιστειογενείς (volcanic earthquakes)* και *εγκατακρημνισιογενείς (earthquakes due to collapse of underground cavities)*. Από το σύνολο των σεισμών το 90% είναι τεκτονικοί, το 7% ηφαιστειογενείς και μόλις το 3% εγκατακρημνισιογενείς. Επίσης, ανάλογα με το βάθος που βρίσκεται η εστία του σεισμού ονομάζονται *επιφανειακοί (surface earthquakes)* (<50 χλμ.), *ενδιάμεσου βάθους (intermediate-depth earthquakes)* (50 – 300 χλμ.) και *σεισμοί βάθους (deep earthquakes)* (>300 χλμ.) (Παπαδόπουλος, 2021).

1.1.2 Τάσεις (stress)

Τάση (stress) ορίζεται ένα σύστημα εσωτερικών δυνάμεων ενός σώματος, που αναπτύσσονται ως συνέπεια της αντίδρασης απέναντι σε μια εξωτερική δύναμη, η οποία επενεργεί πάνω στο σώμα μεταβάλλοντας το σχήμα ή τον όγκο του. Η τάση μπορεί να είναι συμπιεστική ή εφελκυστική. Η τάση, ως δύναμη, αποτελεί διανυσματικό μέγεθος και αναλύεται σε τρεις συνιστώσες (σ_1 , σ_2 , σ_3) για κάθε σημείο μιας επιφάνειας, κατά μήκος των αξόνων ενός

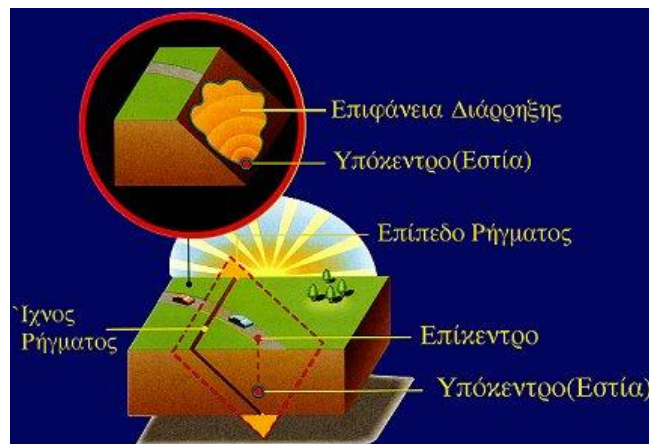
τρισορθογώνιου συστήματος (0x, 0y, 0z) (Σχήμα 2). Οι δύο άξονες τοποθετούνται πάνω στην επιφάνεια και ο τρίτος είναι κάθετος σε αυτήν. Οι δύο πρώτες συνιστώσες ονομάζονται διατμηματικές ή εφαπτομενικές ενώ η τρίτη ονομάζεται κάθετη ή κανονική τάση. Η κατάσταση της μέσης τάσης μιας επιφάνειας προσδιορίζεται από τρεις ορθογώνιες κύριες διευθύνσεις που στην κινηματική τεκτονική ονομάζονται κύριοι άξονες της τάσης, αντιστοιχούν με το προαναφερθέν τρισσορθογώνιο σύστημα και είναι σ_1 : κύρια μέγιστη τάση, σ_2 : ενδιάμεση κύρια τάση και σ_3 : κύρια ελάχιστη τάση. Σε μακροσκοπικό επίπεδο το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσανατολισμό των διαρρήξεων και τη γεωμετρική διάκριση των ρηγμάτων (Παυλίδης, 2016).



Σχήμα 2 Συνιστώσες Τάσης, Πηγή (Παυλίδης, 2016)

1.1.3 Σεισμογόνο Ρήγμα

Σεισμογόνο ρήγμα (*seismic fault*) ονομάζεται η επιφάνεια διάρρηξης των πετρωμάτων που προκαλείται από τη θραύση αυτών όταν οι ασκούμενες πιέσεις υπερβούν το όριο αντοχής τους. Η διάρρηξη συνοδεύεται απαραίτητα από μετατόπιση των τεμαχών σε μια νέα θέση ισορροπίας αλλά το ίχνος του ρήγματος δεν φθάνει πάντα μέχρι την επιφάνεια του εδάφους (Εικόνα 2).



Εικόνα 2 Σχηματική απεικόνιση εστίας, σεισμογόνου ρήγματος, επίκεντρο, Πηγή: (ΟΑΣΠ, 2007)

Το σημείο στο οποίο εκδηλώνεται η θραύση ονομάζεται *εστία (focus)* ή *υπόκεντρο (hypocenter)*. Η κατακόρυφη προβολή της εστίας στην επιφάνεια του γήινου φλοιού αποτελεί το *επίκεντρο (epicenter)* ενώ *εστιακό βάθος (focal depth)* καλείται η απόσταση μεταξύ εστίας και επίκεντρου (Παπανικολάου & Σίδερης, 2015).

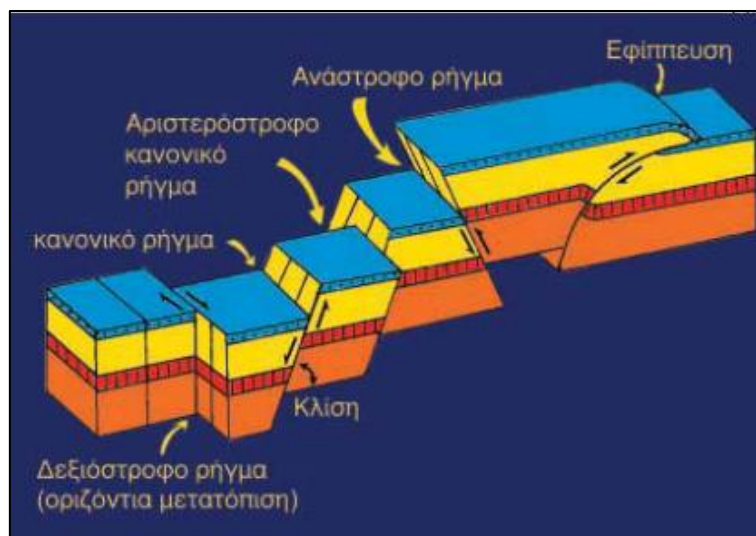
Η θέση του ρήγματος στον χώρο καθορίζεται από την παράταξη και την κλίση της ρηξιγενούς επιφάνειας. Ως παράταξη ορίζεται η γραμμή που προκύπτει από την τομή μιας κεκλιμένης επιφάνειας από το οριζόντιο επίπεδο. Το ρήγμα διαχωρίζει τα πετρώματα σε δύο τμήματα, τα τεκτονικά *τεμάχη*, τα οποία μετακινούνται ως προς την επιφάνεια διάρρηξης με ευθύγραμμες ή περιστροφικές κινήσεις. Η επιφάνεια του ρήγματος εξαιτίας της τριβής κατά τη διάρκεια της ολίσθησης των δύο τεμαχών γίνεται λεία ονομάζεται κατοπτρική επιφάνεια ρήγματος. Σε σχετικά πρόσφατες επιφάνειες διακρίνονται γραμμώσεις ή γραμμές προστριβής που δείχνουν τη διεύθυνση κίνησης των τεμαχών. Σε περίπτωση επαναδραστηριοποίησης του ρήγματος, δημιουργείται νέα ομάδα γραμμώσεων που μπορεί να έχει διαφορετική διεύθυνση (Παυλόπουλος, 2011).

1.1.4 Τύποι Ρηγμάτων

Τα ρήγματα ανάλογα με τον τρόπο κίνησης των επί μέρους τεμαχών διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (Εικόνα 3).

α) *Κανονικά ρήγματα*: Δημιουργούνται από εφελκυστικές τάσεις και συνδέονται με έκταση ή επιμήκυνση του γεωλογικού σχηματισμού κατά το οριζόντιο επίπεδο με την επικράτηση των κατακόρυφων συνιστωσών. Μπορεί να είναι οριζόντια ή κεκλιμένα ενώ σε περιοχές με έντονη τεκτονική δραστηριότητα μπορεί να δημιουργείται ρηξιγενής ζώνη με την παρουσία πολλών ρηγμάτων όμοιας περίπου διεύθυνσης. Η δράση τέτοιων ομάδων ρηγμάτων με αντίθετες διευθύνσεις κλίσεων έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία χαρακτηριστικών μορφοτεκτονικών δομών που ονομάζονται τεκτονικά κέρατα (όταν ένα τέμαχος ανυψώνεται) και τεκτονικές τάφροι (όταν ένα τέμαχος βυθίζεται). Η γωνία κλίσης των ρηξιγενών επιφανειών είναι συνήθως μεγάλη (από 50° – 75°) ενώ το ποσό της επιμήκυνσης (οριζόντιο άλμα) προκύπτει από την απόσταση κατά το οριζόντιο επίπεδο μεταξύ ενός σημείου ενός

στρώματος και του αντίστοιχου σημείου του ίδιου στρώματος, μετά τη μετάπτωση (Παυλόπουλος, 2011).



Εικόνα 3 Τύποι ρηγμάτων, Πηγή: (ΟΑΣΠ, 2007)

β) *Ανάστροφα ρήγματα*: Αυτού του είδους τα ρήγματα είναι αποτέλεσμα διατμητικών τάσεων και παρατηρείται σμίκρυνση του χώρου με την επικράτηση κυρίως των πλευρικών (οριζόντιων) κινήσεων. Σε αυτά τα ρήγματα το ένα τμήμα κινείται προς τα πάνω, κάθετα στην παράταξη της ρηξιγενούς επιφάνειας και το έτερο κινείται αντίθετα προς τα κάτω. Ανάλογα με τη γωνία κλίσης διακρίνονται σε εφίπλευσεις (<45°) και επωθήσεις (>45°). Όταν οι ρηξιγενείς επιφάνειες τείνουν να γίνουν οριζόντιες τότε προκαλούνται μεγάλες πλευρικές μετακινήσεις πετρωμάτων (μεγαλύτερες των 5χλμ.) και δημιουργούνται τα τεκτονικά καλύμματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα ρήγματα ονομάζονται εφίπλευτικά ή επωθητικά και ομάδες αυτών, περίπου παράλληλων μεταξύ τους, σχηματίζουν τις ζώνες λεπιώσεων. Επίσης στενά συνδεδεμένος με τη δημιουργία τεκτονικών καλυμμάτων είναι και ο σχηματισμός του τεκτονικού παράθυρου, όταν σε κάποια περιοχή λόγω της έντονης διάβρωσης του τεκτονικού καλύμματος, αλλά και επακόλουθης εφελκυστικής τεκτονικής και διαφυγής των τεμαχών αποκαλύπτονται στα κατώτερα σημεία ή με τη μορφή αναθολωμένων δόμων, μέλη του υποκείμενου αυτόχθονου συστήματος (Παυλόπουλος, 2011).

γ) *Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης*: Προκαλούν οριζόντια μετατόπιση των τεμαχών, παράλληλα στην παράταξη της ρηξιγενούς επιφάνειας, ενώ δεν παρατηρείται καμία ουσιαστική μεταβολή των διαστάσεων του γεωλογικού σχηματισμού. Η γωνία κλίσης είναι συνήθως μεγάλη έως και 90° με αποτέλεσμα τα ρήγματα αυτά να χαρακτηρίζονται ως κατακόρυφα. Ανάλογα με τις κινήσεις που συμβαίνουν στα τεμάχια του σχηματισμού χαρακτηρίζονται ως δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Για την αναγνώριση του ρήματος ο

παρατηρητής στέκεται μπροστά στο ρήγμα, κοιτάζοντας το τμήμα που βρίσκεται στην άλλη πλευρά της διάρρηξης και σημειώνει τη φορά κίνησης του τμήματος αυτού. Εάν η κίνηση είναι προς τα δεξιά (σε σχέση με τον παρατηρητή) τότε το ρήγμα είναι δεξιόστροφο οριζόντιας μετατόπισης ενώ εάν είναι προς τα αριστερά τότε αριστερόστροφο (Εικόνα 4). Αυτού του είδους τα ρήγματα προκαλούνται κυρίως από συμπιεστικές τάσεις, με γνωστότερα το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα στις δυτικές ακτές της Βόρειας Αμερικής και το ρήγμα της Ανατολίας που από το Βόρειο Αιγαίο διαμέσου της βόρειας Τουρκίας καταλήγει στο Βόρειο Ιράν (Παυλόπουλος, 2011).



Εικόνα 4 Αναγνώριση ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης, Πηγή: (Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, χ.χ.)

δ) Στα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης ανήκουν και τα ρήγματα μετασχηματισμού τα οποία διαχωρίζουν δύο ωκεάνιες λιθοσφαιρικές πλάκες και απολήγουν σε δύο μεσοωκεάνιες ράχες (Δούτσος, 2014) και (Παυλόπουλος, 2011).

1.1.5 Κριτήρια Ταξινόμησης Ρηγμάτων

Πολλά από τα ρήγματα έχουν λειτουργήσει κατά το παρελθόν και σήμερα παρουσιάζονται ως *ανενεργά* ή *νεκρά*. Αρκετά όμως – νεότερης γεωλογικής ηλικίας – επαναδραστηριοποιούνται ανά διαστήματα και προκαλούν τους σεισμούς, χαρακτηριζόμενα ως *ενεργά*.

Τα κυριότερα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση των ενεργών ρηγμάτων είναι τα παρακάτω:

α) *Γεωλογικά κριτήρια*: Όταν ρήγμα έχει δραστηριοποιηθεί στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν, τουλάχιστον κατά το Τεταρτογενές (1,6 Ma). Όταν δηλαδή τέμνει γεωλογικούς σχηματισμούς του Ανώτερου Πλειστόκαινου ή και νεότερους χαρακτηρίζεται ως *γεωλογικά ενεργό*. Έμμεσοι τρόποι για να διαπιστωθεί εάν ένα ρήγμα είναι γεωλογικά ενεργό αποτελούν πρόσφατα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά όπως: αναβαθμίδες τεκτονικής

προέλευσης, νεοτεκτονικά εξάρματα, νεοσχηματισθείσες τεκτονικές κοιλάδες, απότομη αλλαγή διεύθυνσης χειμάρρων, τεκτονικά πρηνή με μεγάλες κλίσεις, έντονη κατά βάθος διάβρωση, κυματοειδής διάταξη πρόσφατων ιζημάτων, τριγωνικές επιφάνειες πρηνών κατά μήκος ρηγμάτων, κ.α. Επικουρικά στοιχεία για την ένδειξη ενεργού δράσης αποτελούν η ύπαρξη θερμομεταλλικών πηγών ή ατμίδων κατά μήκος του ρήγματος, η ανάπτυξη γεωθερμικών πεδίων στην ευρύτερη περιοχή, η έντονη διάβρωση του υπερυψωμένου τεμάχους και οι λειασμένες κατοπτρικές επιφάνειες. Επίσης, χρήσιμα είναι και τα γεωχημικά κριτήρια όπως η εντονότερη έκλυση αερίων και ο χαρακτήρας του χημισμού μεταλλικών πηγών κατά μήκος των ρηγμάτων. Τονίζεται ότι τα έμμεσα κριτήρια δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνα τους αλλά σε συνδυασμό με σεισμολογικά και γεωδαιτικά δεδομένα μπορούν να οδηγήσουν σε αξιόπιστες ενδείξεις για τον καθορισμό ενός ρήγματος ως ενεργού.

β) *Σεισμοϊστορικά κριτήρια:* Πληροφορίες από ιστορικές πηγές για μεγάλους σεισμούς που συνδέονται με μετακινήσεις ρηγμάτων, κατολισθήσεις, ρευστοποιήσεις εδαφών, αλλαγές ροής χειμάρρων ή πηγών, κ.α. αποτελούν σοβαρές ενδείξεις. Εάν οι πληροφορίες είναι αρκετά ακριβείς και μπορούν να συνδυαστούν με προϋπάρχοντα ρήγματα τότε μπορούν να καθορίσουν με σαφήνεια τα ενεργά ρήγματα.

γ) *Γεωφυσικά δεδομένα:* Βαρυτομετρικές ανωμαλίες και ακριβείς υπολογισμοί της δομής του φλοιού διάφορων σεισμοτεκτονικών τεμαχών συμβάλλουν στην κατανόηση της ενεργού τεκτονικής.

δ) *Σεισμολογικά κριτήρια:* Σεισμοί, ανεξαρτήτως μεγέθους, τα επίκεντρα και τα εστιακά βάθη των οποίων είναι ακριβώς καθορισμένα από μεγάλο δίκτυο σεισμολογικών σταθμών μπορούν να ορίσουν τη θέση ενεργών ρηγμάτων. Ακόμα, ακολουθίες σεισμών (προσεισμοί, μετασεισμοί, σμηνοσεισμοί) συνδέονται άμεσα και καθορίζουν με αρκετή ακρίβεια τη γεωμετρία ενεργών ρηγμάτων, όπως και μικροσεισμοί ($1.5 \leq M \leq 3$), καταγεγραμμένοι από δίκτυο σειсмоγράφων μεγάλης ευαισθησίας ή από δίκτυο φορητών σειсмоγράφων εγκατεστημένων σε μικρή περιοχή (2-5 χλμ) γύρω από τα ρήγματα. Αντιθέτως, η έλλειψη σεισμών δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο για τον χαρακτηρισμό κάποιου ρήγματος ως ανενεργού.

ε) *Παλαιοσεισμολογικά κριτήρια:* Οι παλαιοσεισμολογικές μέθοδοι (κατασκευή παλαιοσεισμολογικών τομών, η τεκτονοστρωματογραφία τους και η μορφολογική χρονολόγηση ρηξιγενών πρηνών), όπου μπορούν να εφαρμοσθούν, προσκομίζουν από τα πιο αξιόπιστα δεδομένα και αποδείξεις για τον χαρακτηρισμό των ενεργών ρηγμάτων με ποσοτικές

παραμέτρους, όπως ο αριθμός και το είδος παλαιοσεισμών, τα άλματά τους, ο ρυθμός ολίσθησης, κ.α. (Παυλίδης, 2016).

Σύμφωνα με τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν, τα ρήγματα ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες με τους αντίστοιχους χαρακτηρισμούς:

α) *Ενεργά ρήγματα*: είναι εκείνα που συνδέονται άμεσα με ισχυρούς σεισμούς ή σεισμικές ακολουθίες, όταν παρουσιάζουν μικρή αλλά συνεχή μετακίνηση των δύο τεμαχών τους, που διαπιστώνεται με ακριβείς γεωδαιτικές μετρήσεις. Επίσης όταν επηρεάζουν ή τέμνουν πρόσφατα ιζήματα ή ηφαιστειακά πετρώματα τεταρτογενούς ηλικίας (κυρίως Ολόκαινου), όταν είναι συνδεδεμένα με ορισμένους ειδικούς γεωμορφολογικούς σχηματισμούς ή θερμές πηγές και όταν συνδέονται άμεσα με μικροσεισμούς.

β) *Πιθανά ενεργά ρήγματα*: χαρακτηρίζονται εκείνα που συνδέονται με μικρό βαθμό συσχέτισης με μεγάλους σεισμούς ή συνηθέστερα μόνο με μικροσεισμούς. Επίσης όσα για τα οποία δεν υπάρχουν ιστορικές πληροφορίες για σεισμούς και εδαφικές μετακινήσεις, επηρεάζουν νέα ιζήματα, αλλά δεν φαίνεται να έχουν επαναδραστηριοποιηθεί στο πολύ πρόσφατο παρελθόν. Επίσης, και εκείνα τα ρήγματα όπου τα νέα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά με τα οποία συνδέονται έχουν διαβρωθεί ή δε διακρίνονται ευκρινώς.

γ) *Ρήγματα αβέβαια ενεργά*: χαρακτηρίζονται γενικά τα ρήγματα για τα οποία όλα τα παραπάνω κριτήρια δεν δίνουν ικανοποιητικό βαθμό αξιοπιστίας.

δ) *Αδρανή ή ανενεργά ρήγματα ή άγνωστης δραστηριότητας*: χαρακτηρίζονται εκείνα για τα οποία δεν υπάρχουν σεισμολογικές, ιστορικές και γεωλογικές ενδείξεις για επαναδραστηριοποίησή τους στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι για τον χαρακτηρισμό κάποιου ρήγματος μόνο με γεωλογικά κριτήρια πρέπει να υπάρχει μεγάλη επιφύλαξη όπως και για όσα έχουν χαρακτηριστεί ως τεκτονικά αδρανή καθώς κατά το παρελθόν τέτοια ρήγματα αιφνιδίασαν. Επίσης, ούτε όλα τα ενεργά ρήγματα είναι υποψήφια για σεισμούς, αφού η δράση ορισμένων μπορεί να σχετίζεται με πλαστική παραμόρφωση (Παυλίδης, 2016).

Τέλος, ο Παυλίδης (2016, pp. 258-259), λαμβάνοντας υπόψη και ορισμούς άλλων χωρών, προτείνει μια συνθετική πρόταση για έναν ελληνικό ορισμό ως εξής:

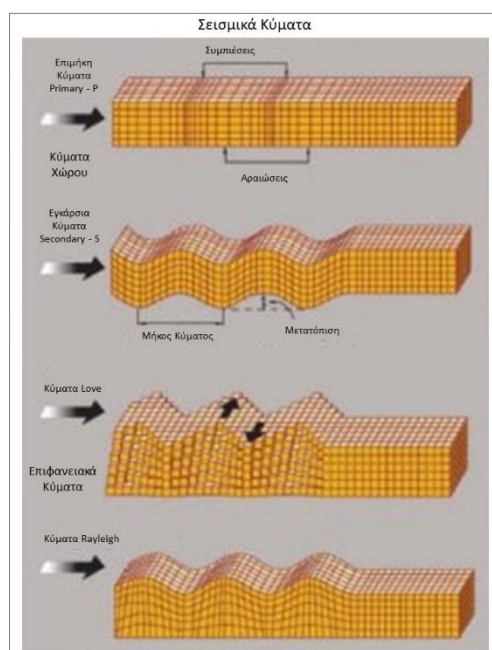
Ως *ενεργό ρήγμα* (*Capable or Active Fault*) ορίζεται το ρήγμα με επιφανειακή έκφραση ή στο εσωτερικό του φλοιού (*τυφλό ρήγμα*), που παρουσιάζει ενδείξεις κίνησης

προσδιορισμένες με μορφοτεκτονικά, γεωλογικά, σεισμολογικά, γεωφυσικά, παλαιοσεισμολογικά και γεωδαιτικά κριτήρια, κατά τη διάρκεια των τελευταίων εκατοντάδων ή χιλιάδων ετών, κυρίως στο Ολόκαινο (11.000 χρόνια), μετατόπιση που κυμαίνεται από 0.1 – 0.5 μ. ανά σεισμικό γεγονός και με ένα γνωστό ενεργό ρήγμα (*κλάδος ή segment*) ή συνδέεται με δύο ή περισσότερα σεισμικά συμβάντα καταγεγραμμένα με σειсмоγράφους μεγέθους 2 και μεγαλύτερους (μικροσεισμικότητα), καθιστώντας το μια πιθανή πηγή σεισμικής απειλής στις κατασκευές, που είναι κτισμένες ή πρόκειται να κατασκευαστούν κατά μήκος του.

1.1.6 Σεισμικά Κύματα

Η διάρρηξη των πετρωμάτων έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση ενέργειας η οποία, εξαιτίας της ελαστικής παραμόρφωσης των πετρωμάτων, διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου με δύο τύπους κυμάτων, τα *κύματα χώρου* και τα *επιφανειακά κύματα* (Εικόνα 5).

8 α) *Κύματα Χώρου*: Τα κύματα χώρου παράγονται στην εστία του σεισμού και περιλαμβάνουν τα *επιμήκη* και τα *εγκάρσια* κύματα. Τα *επιμήκη* (*primary - P*) διαδίδονται ταχύτερα, φθάνουν και καταγράφονται νωρίτερα στους σειсмоγράφους. Αυτού του είδους τα κύματα ταλαντώνουν τα πετρώματα παράλληλα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος σχηματίζοντας συμπίεσεις και αραιώσεις. Επειδή τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια όταν συμπιέζονται ανθίστανται στην αλλαγή του όγκου τους, όταν σταματήσει η συμπίεση αυτά επανέρχονται ελαστικώς στην αρχική τους θέση. Έτσι τα κύματα P διαδίδονται δια μέσου κάθε υλικού. Τα εγκάρσια κύματα (*secondary - S*) έχουν μικρότερη ταχύτητα διάδοσης, και



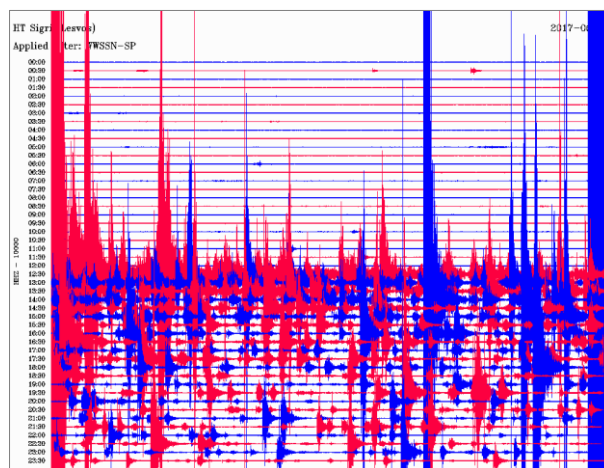
Εικόνα 5 Είδη Σεισμικών Κυμάτων, Πηγή:
Τροποποιημένο από (Καλογεράς & Κτενίδου, 2018)

καταφθάνουν σε δεύτερο χρόνο στους σειсмоγράφους. Σε αυτά τα κύματα η ταλάντωση γίνεται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος και αλλάζουν μόνο το σχήμα του πετρώματος. Επειδή τα ρευστά (υγρά και αέρια) δεν ανθίστανται στην αλλαγή του σχήματός τους αλλά απλώς ρέουν, τα κύματα S δεν διαδίδονται μέσα από αυτά.

β) *Επιφανειακά Κύματα*: Τα επιφανειακά κύματα σχηματίζονται στην επιφάνεια της γης, είναι τα τελευταία που καταφθάνουν και είναι τα καταστρεπτικότερα και πιο σύνθετα. Περιλαμβάνουν τα κύματα *Rayleigh* κατά τη διάδοση των οποίων τα πετρώματα διαγράφουν μια περιστροφική διαδρομή παράλληλη προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος και τα κύματα *Love* στα οποία η κίνηση γίνεται κάθετα προς αυτήν. Το μέγεθος των βλαβών και η καταστρεπτικότητα των σεισμών οφείλεται στο συνδυασμό των κινήσεων που διαγράφουν τα πετρώματα και στο αποτέλεσμα της συμβολής αυτών (Δούτσος, 2014).

1.1.7 Μέτρηση Σεισμών

Τα σεισμικά κύματα καταγράφονται με ειδικές συσκευές, τους σειсмоγράφους μέσα στους οποίους γίνεται ανάρτηση ενός εκκρεμούς, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η απόσβεση της αιώρησής του κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Όταν τα κύματα φθάσουν στον σειсмоγράφο η μάζα του εκκρεμούς διατηρεί τη θέση της στο χώρο ενώ η γη μαζί με τον σειсмоγράφο ταλαντώνονται. Η κίνησή τους καταγράφεται πάνω σε έναν κύλινδρο με τη βοήθεια μιας ακίδας που είναι στερεωμένη πάνω στο εκκρεμές και προκύπτει το σεισμόγραμμα στο οποίο αποτυπώνονται ο χρόνος άφιξης, η ένταση και η ταχύτητα των κυμάτων (Εικόνα 6). Με τον συνδυασμό τριών ή περισσότερων σειсмоγράφων και με βάση τη χρονική διαφορά της άφιξης των κυμάτων P και S καθορίζεται η θέση του επικέντρου ενός σεισμού.



Εικόνα 6 Σεισμόγραμμα σεισμολογικού σταθμού Σιγρίου κατά τον σεισμό της Νότιας Λέσβου της 12^{ης} Ιουνίου 2017, Πηγή: (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2017)

Η ενέργεια των σεισμικών κυμάτων δεν μπορεί να εκτιμηθεί επακριβώς, αλλά προσεγγίζεται κυρίως με βάση τα πλάτη των σεισμικών κυμάτων που παράγονται με δεδομένο ότι είναι τόσο μεγαλύτερα όσο μεγαλύτερη είναι η σεισμική ενέργεια που εκλύεται από το επίκεντρο ενός σεισμού (Δούτσος, 2014).

Η πρώτη ποσοτική εκτίμηση του μεγέθους (M), δηλαδή της συνολικά εκλυόμενης ενέργειας ενός σεισμού, έγινε από τον Charle Richter το 1935. Έκτοτε, υιοθετήθηκαν και άλλες κλίμακες:

α) ML (*Magnitude Local*): Είναι η κλίμακα Richter και αφορά το τοπικό μέγεθος ενός σεισμού. Καθορίζεται από το λογάριθμο του πλάτους των κυμάτων που καταγράφονται από τους σειсмоγράφους σε μια ορισμένη περίοδο. Το ML είναι αξιόπιστο, όταν υπολογίζεται από σειсмоγράφους που δεν απέχουν περισσότερο από 600 χιλιόμετρα από το επίκεντρο του σεισμού. Ισχύει μόνο για ορισμένη συχνότητα σεισμικών κυμάτων και για ορισμένη απόσταση από το επίκεντρο. Επιπλέον, από μια τιμή και πάνω παρουσιάζει το φαινόμενο του κορεσμού, δηλαδή το μέγεθος παραμένει σταθερό όσο και αν αυξάνεται το ποσό της ενέργειας που εκλύεται. Έτσι, για διαφορετικές αποστάσεις από το επίκεντρο του σεισμού οι σεισμολόγοι βασίζονται σε διαφορετικά σεισμικά κύματα για τους υπολογισμούς τους.

β) Ms : Είναι το μέγεθος που λαμβάνεται από τη μέτρηση των επιφανειακών κυμάτων. Το Ms είναι μεγαλύτερο από το ML και είναι αξιόπιστο για επιφανειακούς (< 50 km βάθος) σεισμούς και για μεγάλες αποστάσεις από το επίκεντρο. Χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και προτάθηκε από τον Παπαζάχο.

γ) MB : Είναι μια επέκταση της κλίμακας Richter και το μέγεθος λαμβάνεται από τη μέτρηση των πρωτεύοντων P κυμάτων αξιοποιώντας καλύτερα το δίκτυο των σειсмоγράφων. Είναι αξιόπιστο και για σεισμούς με μεγαλύτερα εστιακά βάθη και για μεγάλες αποστάσεις από το επίκεντρο.

δ) Md : Είναι η κλίμακα μεγέθους διάρκειας.

ε) Me : Εκφράζει το δυναμικό καταστροφικότητας ενός σεισμού και χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση της εκλυόμενης σεισμικής ενέργειας μεγάλων συμβάντων.

στ) Mw : Τα τελευταία χρόνια προτείνεται ως μέτρο της σεισμικής ενέργειας η *σεισμική ροπή* (M_o) που ορίζεται από τη σχέση $M_o = \mu * S * u$, όπου S είναι το εμβαδόν της

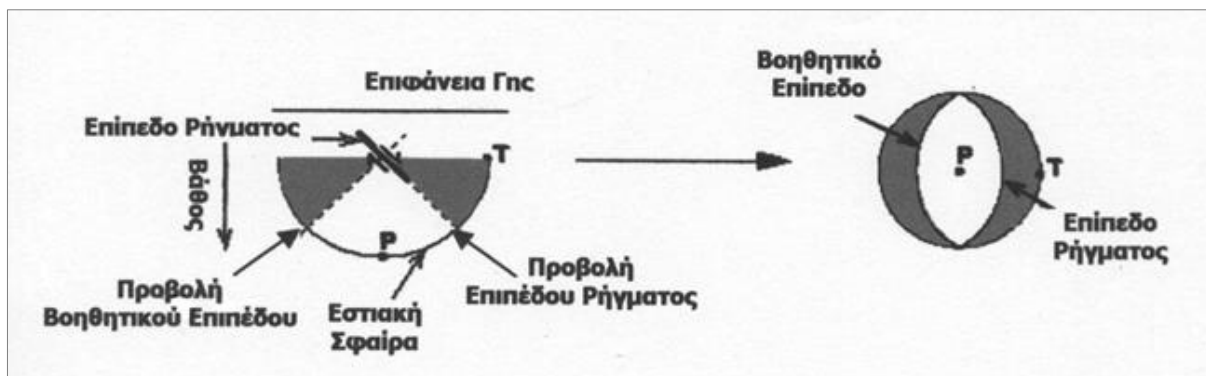
ρηξιγενούς επιφάνειας, η μετατόπιση εκατέρωθεν αυτής, και με το μέτρο δυσκαμψίας των πετρωμάτων που διαρρηγνύονται. Έτσι το μέγεθος σεισμικής ροπής (M_w) προκύπτει από τον τύπο $M_w = 2/3 \log M_0 - 10,7$ και αποτελεί μια κλίμακα με περισσότερη «υγιή» φυσική βάση και γι' αυτό προτιμάται στις σύγχρονες μελέτες (Δούτσος, 2014) και (www.seismoi.gr, 2009).

1.1.8 Μηχανισμός γένεσης σεισμών

Μηχανισμός γένεσης σεισμών ονομάζεται ο τρόπος με τον οποίο λαμβάνει χώρα η διάρρηξη των πετρωμάτων στην εστία του σεισμού και το σύστημα δυνάμεων και τάσεων που αναπτύσσονται σε αυτή (Λέκκας, 2000). Αποτυπώνει τον προσανατολισμό του σεισμικού ρήγματος και τη διεύθυνση της σχετικής ολίσθησης των δυο πλευρών του ρήγματος κατά τη γένεση του σεισμού.

Αναλυτικότερα, ο προσανατολισμός της ρηξιγενούς επιφάνειας και η μετατόπιση εκατέρωθεν αυτής αποτυπώνονται στα πετρώματα ως συνέπεια των τεκτονικών δυνάμεων που ασκούνται σε αυτά (Δούτσος, 2014). Τα προκαλούμενα σεισμικά κύματα φθάνοντας στην επιφάνεια της γης καταγράφονται από ένα σύστημα σειсмоγράφων. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε βασίζεται στην παρατήρηση στα σειсмоγράμματα ότι η πρώτη κίνηση των επίμηκων κυμάτων (primary/P-waves) αναγράφεται ως συμπίεση (από κάτω προς τα πάνω) στους κατακόρυφους σειсмоγράφους των σταθμών που βρίσκονται στις δυο κατά κορυφή γωνίες του επιπέδου του ρήγματος και του βοηθητικού επιπέδου (που είναι κάθετο προς τη διεύθυνση ολίσθησης), και ως αραιώση (από πάνω προς τα κάτω) από τους κατακόρυφους σειсмоγράφους των σταθμών που βρίσκονται στις δυο άλλες κατά κορυφή γωνίες.

Ο μηχανισμός γένεσης εμφανίζεται στους χάρτες με το σύμβολο "beach ball", το οποίο είναι η προβολή σε οριζόντιο επίπεδο του κάτω ημισφαιρίου μιας θεωρητικής σφαίρας (της εστιακής σφαίρας), η οποία περιβάλλει την εστία (Εικόνα 7). Ο προσανατολισμός του πεδίου των

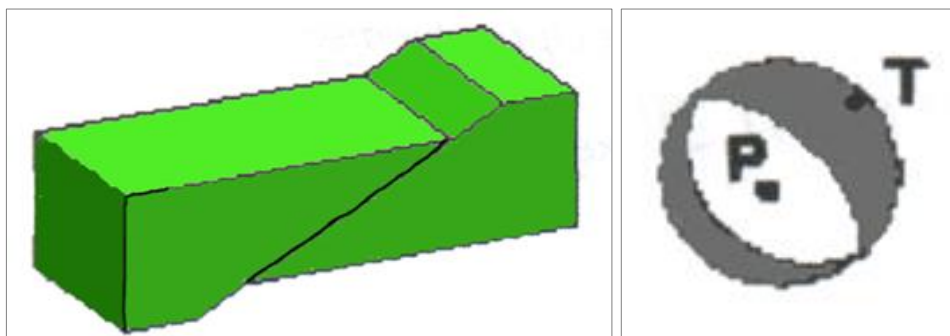


Εικόνα 7 Μηχανισμός γένεσης σεισμού, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ.)

τάσεων κατά τη στιγμή της διάρρηξης καθορίζει τη διεύθυνση της ολίσθησης. Στα σύμβολα αυτά οι γκριζες περιοχές περιέχουν τη συνιστώσα του εφελκυσμού (tension axis - T), που αντιπροσωπεύει την διεύθυνση ελάχιστης συμπίεστικής τάσης, ενώ οι λευκές περιοχές περιέχουν τη συνιστώσα θλίψης (pressure axis - P), που αντιπροσωπεύει τη διεύθυνση της μέγιστης συμπίεσης (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ.).

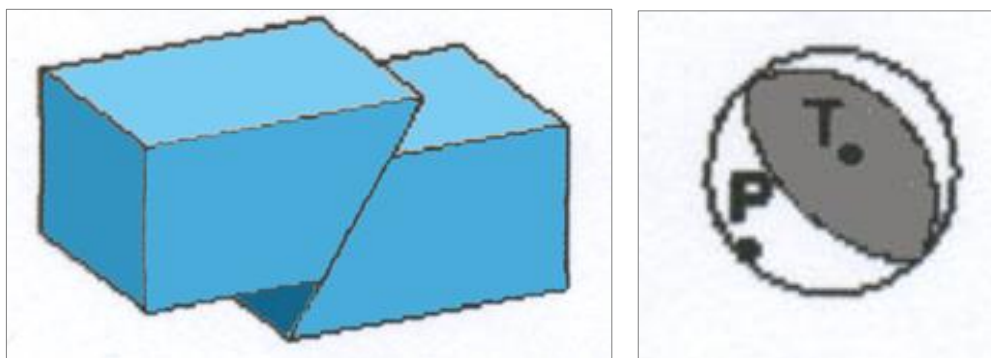
Συνοπτικά, με βάση τον τρόπο διάδοσης των σεισμικών κυμάτων μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τη γεωμετρία, κινηματική και δυναμική ενός σεισμικού ρήγματος.

- Όταν η συνιστώσα εφελκυσμού T είναι οριζόντια και η συνιστώσα θλίψης P κατακόρυφη, η διάρρηξη γίνεται κατά τη διεύθυνση κλίσης του επιπέδου του ρήγματος και το πάνω τέμαχος του ρήγματος κινείται από πάνω προς τα κάτω σε σχέση με το κάτω μέρος του ρήγματος (Εικόνα 8).



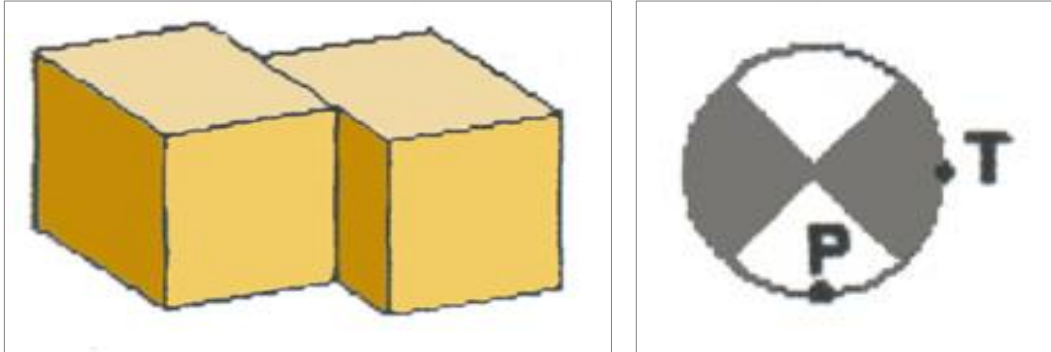
Εικόνα 8 Κανονικό ρήγμα και μηχανισμός γένεσης, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ.)

- Όταν η συνιστώσα θλίψης P είναι οριζόντια και η συνιστώσα εφελκυσμού T κατακόρυφη, η διάρρηξη γίνεται κατά τη διεύθυνση κλίσης του επιπέδου του ρήγματος και το πάνω τέμαχος του ρήγματος κινείται από κάτω προς τα πάνω σε σχέση με το κάτω μέρος του ρήγματος (Εικόνα 9).



Εικόνα 9 Ανάστροφο ρήγμα και μηχανισμός γένεσης, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ.)

- Όταν οι δυο συνιστώσες τάσης (θλίψης P και εφελκυσμού T) σχηματίζουν ίσες γωνίες με το οριζόντιο επίπεδο, η διάρρηξη γίνεται κατά τη διεύθυνση της τομής του επιπέδου του ρήγματος με το οριζόντιο επίπεδο (Εικόνα 10).

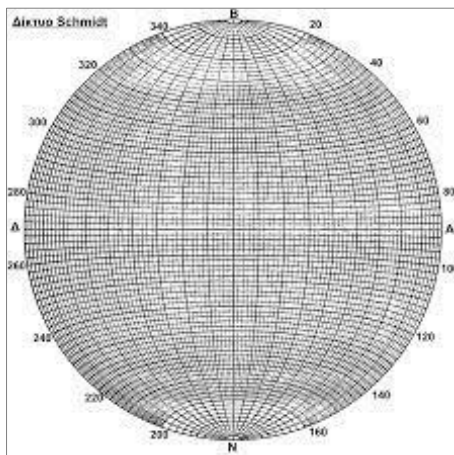


Εικόνα 10 Ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης και μηχανισμός γένεσης, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ.)

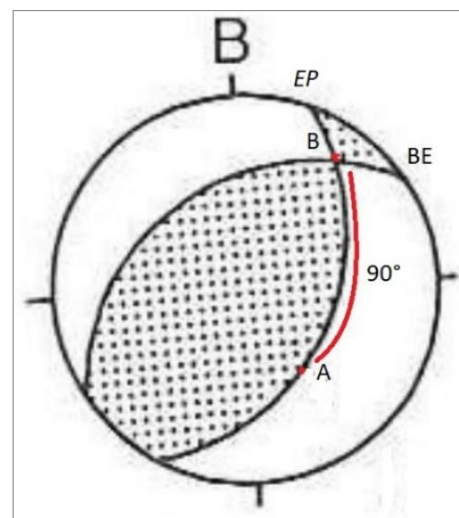
1.1.9 Καθορισμός Προσανατολισμού Διαρρήξεων

Για τον καθορισμό του προσανατολισμού των διαρρήξεων όταν είναι γνωστός ο προσανατολισμός ενός ρήγματος χρησιμοποιείται η μέθοδος των ορθών διέδρων γωνιών που είναι ανάλογη με τη μέθοδο του μηχανισμού γένεσης των σεισμών (Παυλίδης, 2016).

Σύμφωνα με τη μέθοδο, με γνωστά την παράταξη, κλίση και διεύθυνση κλίσης του ρήγματος και τη διεύθυνση, τη φορά και το είδος της σχετικής ολίσθησης των τεμαχών του, θεωρείται



Σχήμα 3 Δίκτυο Schmidt, Πηγή: (Παπαζάχος, et al., 2019)



Σχήμα 4 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου των ορθών διέδρων γωνιών. Πηγή: Τροποποιημένο από (Παυλίδης, 2016)

ένα δεύτερο «βοηθητικό επίπεδο», κάθετο στο επίπεδο του ρήγματος και στη διεύθυνση της τεκτονικής γράμμωσης.

Το επίπεδο του ρήγματος (EP) προβάλλεται πάνω σε ένα δίκτυο Schmidt (Σχήμα 3) (μέγιστος κύκλος) και η γράμμωση ολίσθησης (A) ως πόλος (γωνιακή σχέση επιπέδου με τον πόλο επιπέδου 90°). Κατόπιν προσδιορίζεται σημείο (B) επί της προβολής του επιπέδου του ρήγματος που να απέχει γωνιακή απόσταση 90° από τον πόλο της γράμμωσης. Το βοηθητικό επίπεδο (BE) ορίζεται από τον μεσημβρινό που διέρχεται από τον πόλο του επιπέδου του ρήγματος και το σημείο B, είναι δηλαδή κάθετο στο επίπεδο του ρήγματος. Τα δύο αυτά επίπεδα ορίζουν τέσσερις ορθές δίεδρες γωνίες που στην περίπτωση των μηχανισμών γένεσης των σεισμών οι δύο αντιστοιχούν στις συμπίεσεις των πρώτων αποκλίσεων των επιμήκων κυμάτων και περιέχουν τον άξονα ελάχιστης τάσης (εφελκυσμού, T) και οι άλλες δύο τις αραιώσεις και περιέχουν τους άξονες μέγιστης τάσης (συμπίεσης, P) ενώ το σημείο τομής B ορίζει τον άξονα ενδιάμεσης τάσης (Παυλίδης, 2016) (Παπαζάχος, et al., 2019).

Η αντιστοιχία μεταξύ των αξόνων τάσης που προέρχονται από γεωλογικά δεδομένα (πχ. διαρρήξεις) και από τους μηχανισμούς γένεσης είναι:

$$\sigma_1 \rightarrow P, \sigma_2 \rightarrow B, \sigma_3 \rightarrow T \quad (1.1)$$

1.1.10 Συνοδά Γεωδυναμικά Φαινόμενα

Κατά τη διάρκεια σεισμικών δονήσεων ή αμέσως μετά, εκδηλώνεται ένας αριθμός γεωδυναμικών φαινομένων τα οποία βρίσκονται σε άμεση συσχέτιση με τη σεισμική διέγερση, όπως οι ρευστοποιήσεις εδαφών, οι κατολισθήσεις – καταπτώσεις, οι χιονοστιβάδες, οι μεταθέσεις ακτογραμμών, η εμφάνιση εδαφικών διαρρήξεων και τα τσουνάμι. Η συμβολή τους στην ανάπτυξη και την κατανομή των βλαβών συνειδητοποιήθηκε τα τελευταία χρόνια και γίνονται λεπτομερείς έρευνες για τη μείωση των επιπτώσεων τους μέσα από την εφαρμογή ειδικών μέτρων και ρυθμίσεων.

α) *Ρευστοποιήσεις εδαφών*: Οι ρευστοποιήσεις λαμβάνουν χώρα σε χαλαρά λεπτομερή ιζήματα (ίλυς, άμμους) με παρουσία νερού όταν αυτά υπόκεινται σε επαναλαμβανόμενες διατμητικές φορτίσεις που μπορούν να αντιστοιχηθούν με ένα σεισμικό κύμα. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί χάνουν τη διατμητική αντοχή τους, η στερεά φάση μετατρέπεται σε υγρή και οι σχηματισμοί να αποκτούν συμπεριφορά βαρέως ρευστού με αποτέλεσμα την απώλεια στήριξης των υπερκείμενων κατασκευών ή τεχνικών έργων και την

καταστροφή τους. Κύριες ενδείξεις των ρευστοποιήσεων στην επιφάνεια είναι η παρουσία εκτεταμένων αποθέσεων ιλυωδών ή αμμούχων σχηματισμών, οι οποίοι εκχύνονται στην επιφάνεια μέσω συστημάτων οπών και διαρρήξεων. Επίσης, έμμεση ένδειξη – πέρα από τη βύθιση των υπερκείμενων κατασκευών – αποτελεί η δημιουργία κυματοειδών παραμορφώσεων ή βυθίσεων στην ελεύθερη επιφάνεια. Στον ελληνικό χώρο οι ρευστοποιήσεις εκδηλώνονται σε περιοχές που δομούνται από σχετικά πρόσφατους και χαλαρούς σχηματισμούς, σε πεδινές και παραθαλάσσιες περιοχές που εκεί όμως υπάρχει εντονότερη και μεγαλύτερη ανάπτυξη.

β) *Μεταθέσεις ακτογραμμών*: Προκαλούνται είτε από γενικευμένες ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις λόγω των κινήσεων των ρηξιτεμαχών εκατέρωθεν του σεισμικού ρήγματος, είτε λόγω υποχωρήσεων – μετακινήσεων των χαλαρών σχηματισμών της παραλιακής ζώνης. Σημαντικές βλάβες προκαλούνται σε λιμενικά έργα ή τουριστικές εγκαταστάσεις αλλά και περιβαλλοντικές καταστροφές που συσχετίζονται με το φυσικό κάλος του τοπίου και την ισορροπία των περιβαλλοντικών παραμέτρων.

γ) *Τσουνάμι*: Η λέξη tsunami προέρχεται από τις ιαπωνικές λέξεις *tsu* (λιμάνι) και *namí* (κύμα ή θάλασσα) και συνδέεται άμεσα με τις περιοχές που πλήττονται από τα σεισμικά θαλάσσια κύματα. Τα περισσότερα τσουνάμι οφείλονται σε τεκτονικές μετακινήσεις αλλά και σε ηφαιστειακές εκρήξεις και υποθαλάσσιες κατολισθήσεις. Στον ελληνικό χώρο ο κίνδυνος εκδήλωσης είναι γενικά μικρός αλλά πάντοτε υπαρκτός.

δ) *Εδαφικές διαρρήξεις*: Οι εδαφικές διαρρήξεις είναι το αποτέλεσμα της σεισμικής κίνησης στην επιφάνεια χαλαρών σχηματισμών και δεν θα πρέπει να συγχέονται με τις σεισμικές διαρρήξεις που αποτελούν άμεση εκδήλωση του σεισμικού ρήγματος. Έχουν περιορισμένο βάθος, που σπάνια υπερβαίνει τα μερικά μέτρα, ενώ αντίθετα το μήκος τους μπορεί να φτάσει τα μερικές δεκάδες μέτρα. Οι διευθύνσεις τους είναι ποικίλες και εξαρτώνται από τη γεωμετρία του πρανούς, τη διάταξη των στρώσεων λεπτομερών και αδρομερών φάσεων, την παρουσία μορφολογικών ασυνεχειών και τη γεινίαση με κοίτες ποταμών και ακτογραμμές. Τα κύρια αίτια εκδήλωσης είναι η διαφορική απόκριση των διάφορων χαλαρών πετρολογικών φάσεων, η πλευρική αστάθεια επιφανειακών σχηματισμών και η ρευστοποίηση υποκείμενων σχηματισμών. Κυρίως – λόγω μικρού βάθους – προκαλούν βλάβες σε κατασκευές αβαθούς θεμελίωσης, έργα οδοποιΐας, διαμόρφωσης χώρων, κλπ.

ε) *Κατολισθητικά φαινόμενα*: Ο γενικός όρος περιλαμβάνει όλες τις εδαφικές ή βραχώδεις μετακινήσεις και ειδικότερα τις κατολισθήσεις, τις καθιζήσεις και τις καταπτώσεις

με ειδική κατηγορία τις χιονοστιβάδες που παρασύρουν εδαφικά υλικά. Ο βασικότερος λόγος πρόκλησης κατολισθητικών φαινομένων είναι η υπερνίκηση των υφιστάμενων δυνάμεων που αντιτίθενται στην ολίσθηση. Οι κατολισθήσεις και οι καταπτώσεις αποτελούν τα πλέον συνήθη φαινόμενα που συνοδεύουν κάποια δραστηριότητα, ενώ σχετικά πιο σπάνια εκδηλώνονται καθιζήσεις και χιονοστιβάδες, εκεί που υπάρχουν κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες. Οι μεγαλύτερες κατολισθήσεις συμβαίνουν σε μεγέθη σεισμών $M > 6$ ενώ σπάνια σε μεγέθη $M < 4$. Για την εκδήλωση του φαινομένου καθώς και για τα μεγέθη υλικών και μετακινήσεων, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι μορφολογικές συνθήκες και ειδικότερα οι μορφολογικές κλίσεις και ασυνέχειες, ο προσανατολισμός του πρηνούς, η φύση και αλληλουχία των γεωλογικών σχηματισμών, οι υπάρχουσες τεκτονικές ασυνέχειες καθώς και ο βαθμός της ανθρώπινης παρέμβασης στο πρηνές. Στον ελλαδικό χώρο η εκδήλωση κατολισθήσεων μετά από σεισμική δόνηση είναι αρκετά συχνό φαινόμενο κυρίως λόγω των μορφολογικών κλίσεων, της καταπόνησης των γεωλογικών σχηματισμών από την τεκτονική παραμόρφωση, τη σύνθετη λιθοστρωματική διάρθρωση, κλπ. (Λέκκας, 2000).

1.1.11 Εκτίμηση Μακροσεισμικών Αποτελεσμάτων

Τόσο ο σεισμός όσο και τα συνοδά γεωδυναμικά φαινόμενα προκαλούν επιπτώσεις στο έδαφος, στα ύδατα (επιφανειακά και υπόγεια), στις κάθε είδους κατασκευές και κατ' επέκταση στους ανθρώπους και στα ζώα που ονομάζονται *μακροσεισμικά αποτελέσματα*. Για τη μέτρηση αυτών, δηλαδή της έντασης ενός σεισμού χρησιμοποιείται συνήθως η *δωδεκαβάθμια κλίμακα Mercalli – Sieberg* (Πίνακας 3), (ΟΑΣΠ, χ.χ.).

Πίνακας 3 Δωδεκαβάθμια Κλίμακα Mercalli – Sieberg, Πηγή: Ίδια επεξεργασία από (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ.)

Δωδεκαβάθμια Κλίμακα Mercalli – Sieberg	
Βαθμοί	Αποτελέσματα
I	Δεν γίνεται αισθητός.
II	Αισθητός από μερικούς ανθρώπους που βρίσκονται σε ανάπαυση στους ψηλότερους ορόφους κτιρίων.
III	Αισθητός μέσα στα σπίτια. Μπορεί να μην αναγνωριστεί ως σεισμός. Δονήσεις σαν να περνάει ελαφρύ φορτηγό.
IV	Τίθενται σε κίνηση κρεμασμένα αντικείμενα. Τζάμια τρίζουν. Σταματημένα αυτοκίνητα κλυδωνίζονται. Δονήσεις σαν να περνάει βαρύ φορτηγό. Κρότος παραθύρων, χτύπος στις πόρτες.
V	Αισθητός στην ύπαιθρο. Αυτοί που κοιμούνται ξυπνούν. Αιώρηση κρεμασμένων αντικειμένων. Ανατροπή μερικών μικρών αντικειμένων.
VI	Αισθητός από όλους. Πολλοί τρομοκρατούνται και τρέχουν έξω από τα κτίρια. Οι άνθρωποι περπατούν με αστάθεια. Μικρές καμπάνες ηχούν. Μετακίνηση ή ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων και επίπλων. Βλάβες σε σοβάδες, κεραμίδια, καπνοδόχους. Βλάβες λίγες, ελαφρές.

VII	Μεγάλες καμπάνες ηχούν. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Σοβάδες και τοιχοποιία ρηγματώνονται στις συνηθισμένες κατασκευές. Στις κακές κατασκευές πέφτουν σοβάδες, αποκολλώνται τούβλα και πέτρες. Γίνεται αισθητός από οδηγούς αυτοκινήτων. Κυματισμός στις λίμνες, θόλωμα νερού από λάσπη.
VIII	Επηρεάζεται η οδήγηση των αυτοκινήτων. Αρκετές ζημιές και μερική κατάρρευση στις συνηθισμένες κατασκευές. Λίγες βλάβες στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών, και μεγάλες στις κακές κατασκευές. Κλαδιά σπάνε από τα δένδρα. Αλλαγές στη ροή και στη θερμοκρασία του νερού σε πηγές και σε πηγάδια.
IX	Γενική καταστροφή στις κακές κατασκευές. Σοβαρές βλάβες στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών. Υπόγειοι αγωγοί σπάζουν. Σε περιοχές με αλλούβια αναβλύζει από το έδαφος λεπτή άμμος, ιλύς και νερό.
X	Καταστροφή μερικών καλά κατασκευασμένων ξύλινων κτιρίων και γεφυρών. Οι περισσότερες κατασκευές τοιχοποιίας και τα προκατασκευασμένα κτίσματα καταστρέφονται μαζί με τα θεμέλια. Σοβαρές ζημιές σε φράγματα, υδροφράχτες και αναχώματα. Μεγάλες κατολισθήσεις. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται.
XI	Μεγάλες ρωγμές στο έδαφος. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται έντονα. Υπόγειοι αγωγοί καταστρέφονται εντελώς.
XII	Ολική καταστροφή. Αντικείμενα εκτινάσσονται στον αέρα. Μεταβάλλεται η επιφάνεια του εδάφους και η γραμμή του ορίζοντα.

1.1.12 Νεοτεκτονική

Σύμφωνα με τους Παυλίδης & Μουντράκης (1986) από (Παυλίδης, 2016) «*Νεοτεκτονική* είναι η μελέτη των νέων τεκτονικών δομών (κληρονομημένων ή νεοσχηματισθέντων) και γεγονότων, τα οποία έχουν συμβεί ή συνεχίζουν να συμβαίνουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή, μετά τις τελευταίες ορογενετικές διαδικασίες που έλαβαν χώρα στην περιοχή αυτή (τουλάχιστον για πρόσφατες ορογενετικές διαδικασίες) ή ακριβέστερα μετά από την τελευταία αξιοσημείωτη τεκτονική ανακατάταξη της περιοχής»

1.1.13 Φυσικοί Κίνδυνοι – Πολιτική Προστασία

Ο άνθρωπος, από την αρχή της παρουσίας του, βρισκόταν αντιμέτωπος με πληθώρα φυσικών κινδύνων. Η μελέτη και αντιμετώπιση αυτών είναι μείζονος σημασίας για τη μείωση των επιπτώσεων τους. Ως *φυσικός κίνδυνος* (*natural hazard*) ορίζεται κάθε φυσικό φαινόμενο ή φυσική διεργασία που ενέχει κάποια πιθανότητα να προκαλέσει μικρής ή μεγάλης κλίμακας καταστροφή στο ανθρωπογενές ή /και στο φυσικό περιβάλλον. Διακρίνονται σε κοσμικούς, ατμοσφαιρικούς, γεωλογικούς, υδρολογικούς και βιολογικούς, ανάλογα με την προέλευσή τους (Παπαδόπουλος, 2000).

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία (Ν. 4662/2020, 2020) δίνονται οι παρακάτω ορισμοί:

α) *Κίνδυνος (Hazard)*: ένα δυνητικά καταστροφικό γεγονός, φαινόμενο ή ανθρώπινη δραστηριότητα που μπορεί να προκαλέσει απώλειες ζωής ή τραυματισμούς, ζημιές σε περιουσίες, κοινωνικές και οικονομικές διαταραχές ή περιβαλλοντική υποβάθμιση.

β) *Τρωτότητα (Vulnerability)*: οι συνθήκες που καθορίζονται από φυσικούς, κοινωνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες ή διεργασίες που αυξάνουν την ευπάθεια μιας κοινωνίας στις επιπτώσεις των κινδύνων.

γ) *Ευπάθεια (Susceptibility)*: οι παράγοντες που δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την εξέλιξη ενός κινδύνου σε καταστροφή.

δ) *Ανθεκτικότητα (Resilience)*: η ικανότητα ενός συστήματος ή μιας κοινωνίας, εν δυνάμει εκτεθειμένης σε πιθανούς κινδύνους, να αντιστέκεται ή να προσαρμόζεται, με στόχο να διατηρήσει ένα αποδεκτό επίπεδο λειτουργίας και συνοχής.

ε) *Καταστροφή (Disaster)*: η σοβαρή διαταραχή της λειτουργίας της κοινωνίας, που προκαλεί εκτεταμένες ανθρώπινες, υλικές και περιβαλλοντικές απώλειες, οι οποίες ξεπερνούν την ικανότητα της πληγείσας κοινωνίας να τις αντιμετωπίσει με ίδια μέσα και πόρους.

Το σύνολο των δράσεων που ένα κράτος σχεδιάζει, οργανώνει και εφαρμόζει για να προλαμβάνει και να αντιμετωπίζει φυσικούς και τεχνολογικούς κινδύνους ονομάζεται *Πολιτική Προστασία (civil protection)*. Η μελέτη και προεκτίμηση είναι έργο επιστημονικό ενώ ο σχεδιασμός, η οργάνωση, η πρόληψη και η αντιμετώπιση είναι έργο διοικητικό και επιχειρησιακό που συντελείται με τη συμβουλευτική αρωγή του επιστημονικού και τεχνικού κόσμου (Παπαδόπουλος, 2000).

1.1.14 Σεισμικότητα

Σεισμικότητα ορίζεται το μέτρο της σεισμικής δράσης που δίνει πληροφορίες για τη συχνότητα επανάληψης των σεισμών. Ο προσδιορισμός της σεισμικότητας προκύπτει από την αναγνώριση, την κατανόηση και την ποσοτική έκφραση των επιδράσεων των σεισμών (Παυλίδης, 2007). Για τις μελέτες σεισμικότητας θεωρείται απαραίτητη η ύπαρξη καταλόγων σεισμών που να περιέχουν πληροφορίες για τα μεγέθη που αναφέρονται στην ίδια κλίμακα (Σκορδύλης, et al., 1998)

1.1.15 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ)

Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ορίζεται ως η επιστήμη, η τέχνη και η τεχνολογία για τη διαχείριση γεωχωρικών δεδομένων και πληροφοριών. Απαρτίζεται από το σύστημα του ηλεκτρονικού υπολογιστή (εξοπλισμός, προγράμματα), τα γεωχωρικά δεδομένα (χάρτες, δορυφορικές εικόνες, αεροφωτογραφίες, πίνακες πληροφοριών) και τους χρήστες (καθορισμός προδιαγραφών, επικαιροποίηση, ανάλυση και χρήση). Τα γεωχωρικά δεδομένα είναι δείγματα από φαινόμενα του πραγματικού κόσμου, ταξινομούνται σε γραφικά ή γεωμετρικά και σε ιδιότητες ή θεματικά και οργανώνονται σε πολλαπλά επίπεδα πάνω από τον γεωγραφικό χώρο.

Η ανάπτυξη ενός ΓΣΠ συμβάλλει στην οργάνωση και τον αυτοματισμό εφαρμογών όπως:

- i. Διαχείριση υπηρεσιών ΟΤΑ όπως ύδρευσης, αποχέτευσης, γενικότερα δικτύων, αστυνομία, πυροσβεστική, κ.λπ.
- ii. Διαχείριση περιβαλλοντικών και φυσικών πόρων, περιβαλλοντικές μελέτες.
- iii. Διαχείριση κυκλοφοριακών προβλημάτων και ανάλυση δικτύων μεταφορών.
- iv. Διαχείριση λεκανών απορροής και υδατικών πόρων.
- v. Κτηματολόγιο και συστήματα πληροφοριών γης.
- vi. Συστήματα ανάπτυξης και διαχείρισης χαρτογραφικού υλικού.
- vii. Διαχείριση πολεοδομικών εφαρμογών.
- viii. Άλλες εφαρμογές (αρχαιολογία, γεωλογία, γεωργία, κ.λπ.) (Χατζόπουλος, 2012).

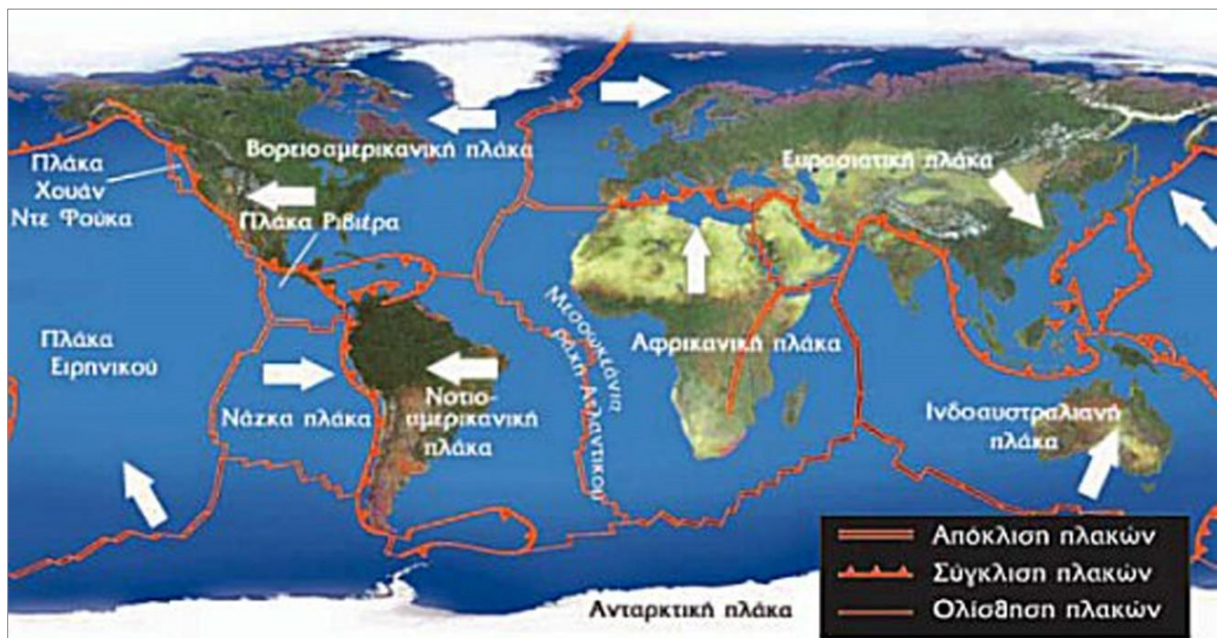
1.1.16 Μελέτη Περίπτωσης

Στις κοινωνικές επιστήμες, η μελέτη περίπτωσης (case study) συνίσταται στην ανάλυση ενός γενικού κοινωνικού φαινομένου μέσα από μια συγκεκριμένη – ειδικότερη – μορφή εκδήλωσής του, δηλαδή μέσα από μια συγκεκριμένη περίπτωση (Ιωσηφίδης, 2008). Προσφέρει εμβάθυνση στις παραμέτρους του φαινομένου, αναλυτική έρευνα σε αυτές, μπορεί να οδηγήσει σε γενικότερα συμπεράσματα ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως διδακτικό εργαλείο. Τα φαινόμενα που εξετάζονται στη συγκεκριμένη εργασία δεν είναι κοινωνικά, αλλά οι στόχοι της αναλυτικής διερεύνησης και κατανόησης της πραγματικότητας και της αποτύπωσης σχέσεων και αλληλεπιδράσεων σε μικρή χωρική κλίμακα, οδήγησαν στην υιοθέτηση της περιπτωσιολογικής μελέτης ως ερευνητικής στρατηγικής.

1.2 Παλαιογεωγραφία – Γεωτεκτονική Εξέλιξη

1.2.1 Η Θεωρία των Λιθοσφαιρικών ή Τεκτονικών Πλακών

Ο όρος «Τεκτονική των Πλακών» αναφέρεται στο σύγχρονο μοντέλο που ασχολείται με τη δυναμική του εξωτερικού κελύφους της Γης. Το επιφανειακό σκληρό στρώμα της Γης, θεωρείται ότι αποτελείται από έναν αριθμό μεγάλων και μικρότερων τεμαχών που ονομάζονται τεκτονικές ή λιθοσφαιρικές πλάκες και αποτελούν το εξωτερικό κέλυφος του πλανήτη, τη λιθόσφαιρα (Εικόνα 11). Αυτό το κέλυφος, ολισθαίνει πάνω σε ένα εύκαμπτο στρώμα, σχεδόν «λιωμένου πετρώματος» που ονομάζεται ασθενόσφαιρα. Οι πλάκες, ωθούμενες από τον μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας από το εσωτερικό της γης,



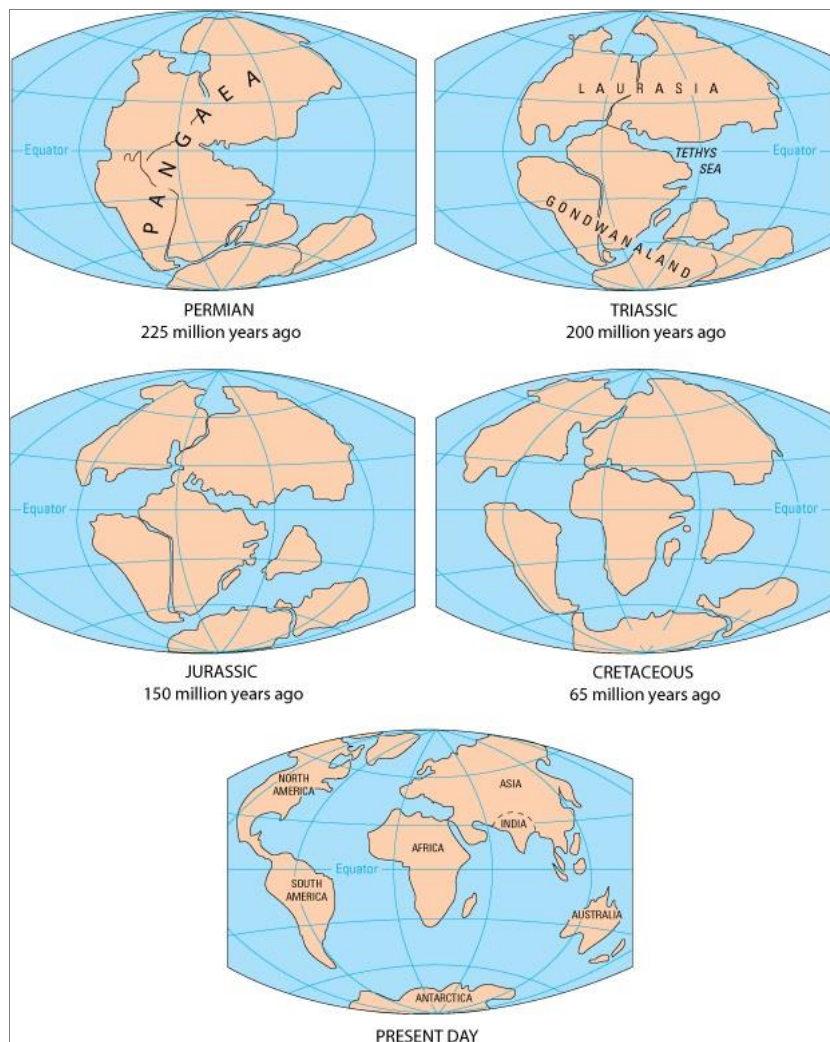
Εικόνα 11 Κυριότερες λιθοσφαιρικές πλάκες και κινήσεις αυτών, Πηγή: (Φωτόδεντρο, χ.χ.)

μετακινούνται συγκλίνοντας, αποκλίνοντας ή ολισθαίνοντας η μία παράλληλα με την άλλη. Σύμφωνα με τη θεωρία των Πλακών, αυτή η αλληλεπίδραση έχει ως αποτέλεσμα τη διάνοιξη νέων ωκεανών και την καταστροφή παλαιών, τη δημιουργία οροσειρών, σεισμών, ηφαιστείων και γενικότερα την εκδήλωση διάφορων γεωλογικών φαινομένων (Παυλίδης, 2007).

Κατά τη διάρκεια του γεωλογικού χρόνου ([Πίνακας 1 και 2](#)) οι αλλαγές στη μορφή και το σχήμα του γήινου φλοιού ήταν διαρκείς με σημαντικές επιπτώσεις. Πριν περίπου 250 εκατομμύρια χρόνια, υπήρξε σύγκλιση των πλακών σε μια ενιαία ξηρά, την Παγγαία που διήρκεσε περίπου 130 εκ. χρόνια. Σταδιακά, ξεκίνησε ο διαμελισμός της σε δύο τεμάχια, τη Λαυρασία και την Γκοντβάνα και παράλληλα η δημιουργία του ωκεανού της Τηθύος. Η συνεχιζόμενη απομάκρυνση των πλακών, μέσα από συνεχείς ανακατατάξεις οδήγησαν στη

σημερινή μορφή και θέση των ηπείρων (Εικόνα 12). Πρόκειται για μια αργή, διαρκή και δυναμική διαδικασία που θα συνεχίζεται, με εκδηλώσεις - αντιληπτές στον ανθρώπινο χρόνο - όπως η σεισμική και η ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Ειδικότερα, η περιοχή της Μεσογείου θεωρείται ότι διαμορφώθηκε από τις τεκτονικές διεργασίες στα όρια των πλακών της Ευρασίας και της Γκοντβάνας, σε ένα ευρύτερο σύστημα που ονομάζεται Αλπικό ορογενετικό σύστημα της Τηθύος και περιλαμβάνει τις οροσειρές του Άτλαντα, τα Απέννινα Όρη και τις Άλπεις, τα Καρπάθια, τη Βαλκανική Χερσόνησο, τις οροσειρές του Ταύρου και του Καυκάσου και φτάνει μέχρι τα Όρη Ζάγκρος στο Ιράν (Μουντράκης, 2010). Μέσα από τις συμπιεστικές αυτές τάσεις προκλήθηκε η δημιουργία αυτών των οροσειρών και η σταδιακή εξαφάνιση του ωκεανού της Τηθύος, υπολείμματα του οποίου αποτελούν τα μεγάλα βάθη της Μεσογείου νότια της Πελοποννήσου (Φρέαρ των Οινουσσών), νότια της Κρήτης και νοτιοδυτικά της Κύπρου (Λεκάνη του Ηροδότου).



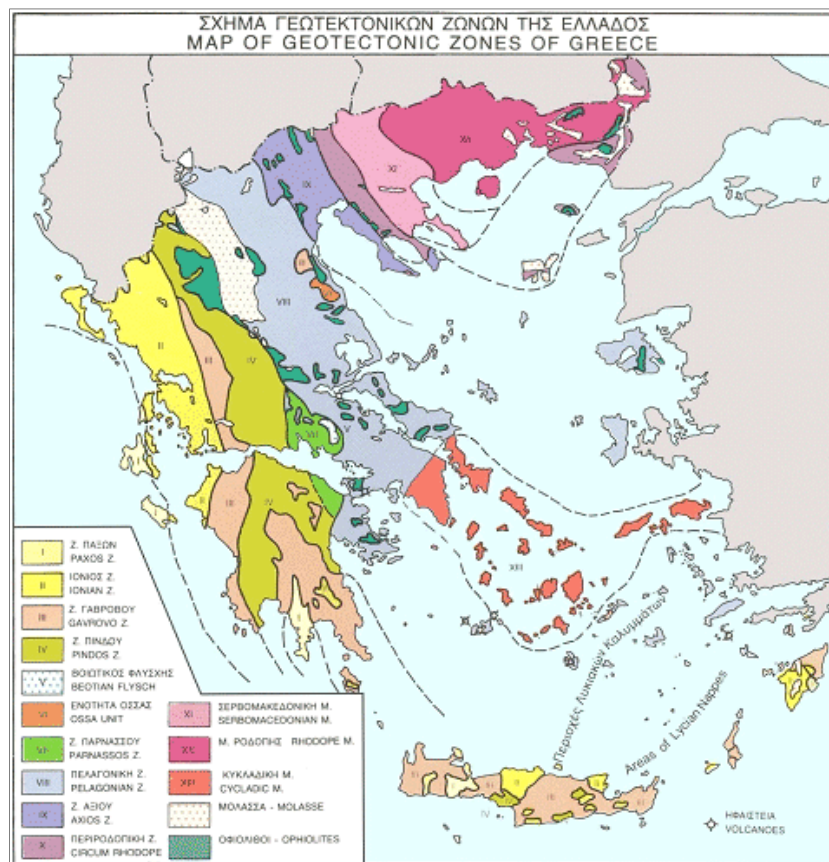
Εικόνα 12 Παλαιογεωγραφία, Πηγή: (Τμήμα Γεωλογίας - ΑΠΘ, χ.χ.)

1.2.2 Ο Ελλαδικός Χώρος

Η δημιουργία του Ελλαδικού χώρου, εντάσσεται μέσα στο ευρύτερο πλαίσιο της λειτουργίας του Αλπικού ορογενετικού συστήματος. Εμφανίζει εξαιρετική πολυπλοκότητα καθότι έχει προέλθει από συνεχείς συγκρούσεις της ευρασιατικής πλάκας με τμήματα της Γκοντβάνα (Κιμμερική και Απουλία ήπειρος) με παράλληλη διάνοιξη και καταστροφή ωκεάνιων περιοχών (Παλαιο-Τηθύς, Νέο-Τηθύς). Οι ελληνικές οροσειρές υποδιαιρούνται σε γεωτεκτονικές ζώνες οι οποίες αναφέρονται ως «ελληνίδες ζώνες». Σύμφωνα με τις επικρατούσες απόψεις, κάθε γεωτεκτονική ζώνη συνίσταται από μια ορισμένη στρωματογραφική αλληλουχία, από τους λιθολογικούς χαρακτήρες της και από την ιδιαίτερη τεκτονική συμπεριφορά της. Συνοπτικά, αναφέρονται 12 ζώνες από τα ανατολικά προς τα δυτικά με τα παρακάτω χαρακτηριστικά (Εικόνα 13):

- i. Μάζα Ροδόπης: ήταν το νοτιότερο χερσαίο άκρο της ευρασιατικής πλάκας και αποτέλεσε τον πυρήνα πάνω στον οποίο δομήθηκε ο ελλαδικός χώρος. Τα πετρώματα είναι ηλικίας άνω των 200 εκ. ετών και εμφανίζουν σχετικά χαμηλό υψόμετρο και ομαλό ανάγλυφο λόγω έντονης διάβρωσης.
- ii. Σερβομακεδονική μάζα: αποτελούσε την ηπειρωτική κατωφέρεια και λόγω της σύγκρουσης παρουσιάζει έντονη θραύση και ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου (Στρυμόνας ποταμός).
- iii. Περιοδοπική ζώνη: αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας.
- iv. Ζώνη Αξιού (υποδιαιρούμενη σε Παιονίας, Πάικου και Αλμωπίας): δομείται κυρίως από οφειολιθικά πετρώματα (περιδοτίτες) που δημιουργούνται στον πυθμένα των ωκεανών.
- v. Πελαγονική ζώνη: Προήλθε από ηπειρωτικό τέμαχος της Κιμμερικής ηπείρου που προήλθε από απόσπαση από την Γκοντβάνα. Λόγω των υψηλών πιέσεων δημιουργήθηκαν τα εξαιρετικά λεπτόκοκκα μάρμαρα των περιοχών Πεντέλης και Κοζάνης.
- vi. Αττικο – Κυκλαδική Ζώνη: αποτελεί συνέχεια της πελαγονικής, ετερογενούς σύστασης αλλά με τεκτονικές σχέσεις.
- vii. Υποπελαγονική Ζώνη: αποτελείται από περιδοτίτες και ιζήματα. Θεωρείται ότι αποτελεί συρραφή του δυτικού τμήματος του πελαγονικού ηπειρωτικού τεμάχους.
- viii. Ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας: βασικό γνώρισμα αποτελούν οι βωξίτες και θεωρείται ότι ήταν μια μικρή πλατφόρμα στον ωκεανό της Νέο-Τηθύς.

- ix. Ζώνη Ωλονού – Πίνδου: χαρακτηρίζεται από ωκεάνια ιζήματα και αντιπροσωπεύει – μαζί με την Υποπελαγονική – τον ωκεανό της Νέο-Τηθύος.
- x. Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης: αντιπροσωπεύει τμήμα της Απουλίας με ανθρακική ιζηματογένεση.
- xi. Ιόνιος ζώνη: αποτελεί μια ηπειρωτική λεκάνη με πελαγική ιζηματογένεση.
- xii. Ζώνη Παξών: αποτελεί το εσωτερικό (ανατολικό) τμήμα της Απουλίας πλατφόρμας και χαρακτηρίζεται από θαλάσσια ιζηματογένεση που συνεχίζεται έως και σήμερα στις περιοχές που βρίσκονται κάτω από τη θάλασσα (Μουντράκης, 2010).



Εικόνα 13 Γεωτεκτονικές ζώνες, Πηγή: (www.orykta.gr/, χ.χ.)

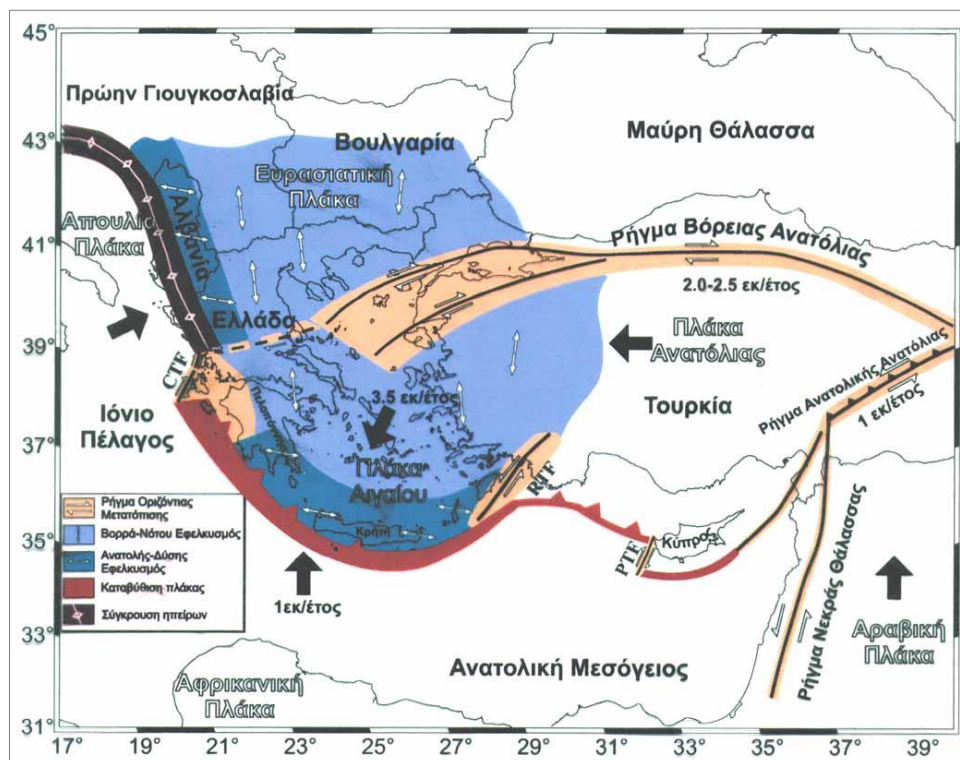
1.2.3 Το Ελληνικό Τόξο

Το σύγχρονο γεωτεκτονικό καθεστώς της περιοχής καθορίζεται από τη σύγκλιση της ευρασιατικής με την αφρικανική πλάκα με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας ζώνης καταβύθισης, τη διαμόρφωση μιας αμφιθεατρικής επιφάνειας, της Ελληνικής Αύλακας και τη συγκρότηση ενός νησιωτικού τόξου (Δούτσος, 2014). Η υποβύθιση μιας ωκεάνιας πλάκας

(αφρικανικής) κάτω από μια ηπειρωτική (ευρασιατική) συγκροτεί μια τυπική διάταξη που στην περιοχή του Αιγαίου έχει διαμορφωθεί ως εξής (διεύθυνση N–B):

- i. Δημιουργία τάφρων: Ελληνική Τάφρος, σύστημα υποθαλάσσιων τάφρων από το Ν. Ιόνιο έως τα Μικρασιατικά παράλια νότια της Ρόδου.
- ii. Δημιουργία ανυψώσεων: Δημιουργία νησιών, Ιόνια νησιά, Κρήτη, Δωδεκάνησα.
- iii. Δημιουργία οπισθόταφρου: αβαθής λεκάνη που αντιστοιχεί στο Κρητικό και Καρπάθιο Πέλαγος.
- iv. Δημιουργία ηφαιστειακού τόξου: απαρτίζεται από τα ηφαιστειακά κέντρα στο Σουσάκι, στα Μέθανα, στη Μήλο, στη Σαντορίνη και στη Νίσυρο.
- v. Ζώνη Benioff: είναι η επιφάνεια επαφής των δύο πλακών και σε αυτή αποτυπώνονται τα επίκεντρα των σεισμών.

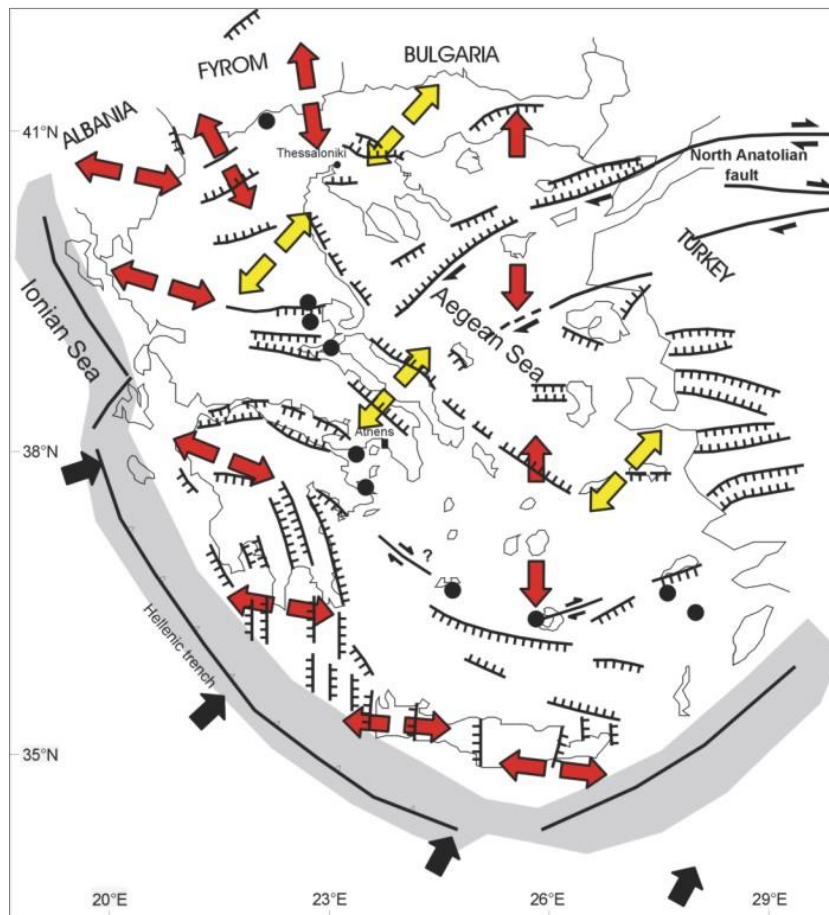
Η σύγκρουση των δύο πλακών έχει ως αποτέλεσμα την αποκόλληση μικρότερων τεμαχίων, διαφορετικής κατεύθυνσης και ταχύτητας κίνησης (McKenzie, 1972). Η μικροπλάκα της Αραβίας κινείται προς βορρά με μεγαλύτερη ταχύτητα από την αφρικανική, δημιουργώντας το ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης του Ιορδάνη – Λιβάνου. Αυτή η κίνηση εξαναγκάζει την μικροπλάκα της Τουρκίας να κινηθεί προς τα δυτικά, δημιουργώντας το δεξιόστροφο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης της Βόρειας Ανατολίας, ασκώντας παράλληλα πιέσεις στην περιοχή του Αιγαίου (Εικόνα 14). Εξαιτίας αυτών των πιέσεων η μικροπλάκα του Αιγαίου κινείται με



Εικόνα 14 Κινήσεις λιθοσφαιρικών πλακών στην περιοχή του Αιγαίου. Πηγή: (Μουντράκης, χ.χ.)

διεύθυνση BBA – NNA δημιουργώντας ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης. Η ταχύτητα σύγκλισης Αφρικής προς Ευρώπη είναι περίπου 1 cm/έτος ενώ της μικροπλάκας του Αιγαίου προς την Αφρική 4 cm/έτος. Η σημαντική αυτή ταχύτητα προκαλεί και την έντονη σεισμικότητα στην περιοχή για την εκτόνωση όλων αυτών των πιέσεων και καθιστά το ελληνικό τόξο ως την πιο ενεργή γεωλογική δομή της Ευρώπης.

Η διεύθυνση και το είδος των ρηγμάτων εξαρτώνται από τη ζώνη εμφάνισης και το είδος των τάσεων που ασκούνται (Εικόνα 15). Στο μέτωπο σύγκλισης των δύο πλακών αναπτύσσονται συμπιεστικές τάσεις με διεύθυνση Β – Ν που προκαλούν παραμορφώσεις και οδηγούν στη δημιουργία ανάστροφων ρηγμάτων με διεύθυνση Α – Δ. Αντίθετα στο εσωτερικό του Αιγαίου παρουσιάζονται εφελκυστικές τάσεις με γενική διεύθυνση Β – Ν που δημιουργούν κανονικά ρήγματα Α – Δ διεύθυνσης.



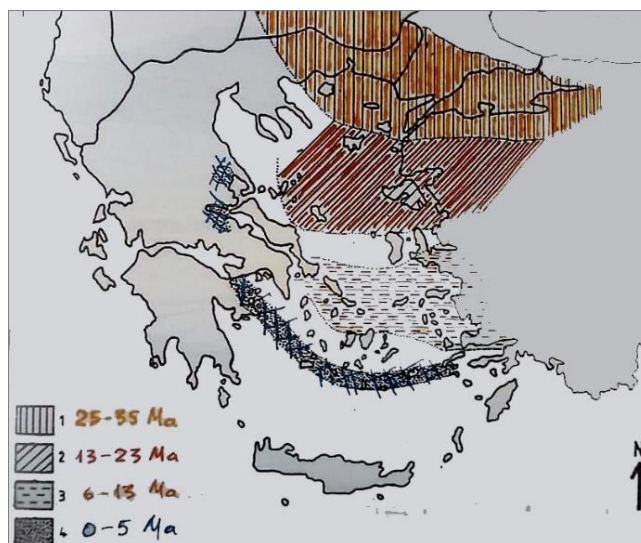
Εικόνα 15 Χαρακτηριστικά Ενεργούς Τεκτονικής, Πηγή: (Μουντράκης, χ.χ.)

Κύρια χαρακτηριστικά της ενεργού τεκτονικής του Ελληνικού τόξου και του ευρύτερου Αιγαϊακού χώρου. 1: Όρια λιθοσφαιρικών πλακών, 2: Ζώνη ανάστροφων ρηγμάτων, 3: Τα σπουδαιότερα κανονικά ρήγματα, 4: Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (διεύθυνσης ολίσθησης), 5: Ηφαίστεια Πλειο-Τεταρτογενούς, 6: Ζώνη συμπίεσης. Τα κίτρινα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση του εφελκυστικού πεδίου στο Ανώτερο Μειόκαινο - Πλειόκαινο και τα κόκκινα βέλη τη διεύθυνση του ενεργού εφελκυσμού. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση κίνησης της Αφρικανικής πλάκας και τη διεύθυνση των συμπιεστικών τάσεων.

Επιπλέον, στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου πέρα από τις γενικές πιέσεις καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει το ρήγμα της Ανατολίας το οποίο εμφανίζεται σε δύο κλάδους. Ο βόρειος κλάδος από τη θάλασσα του Μαρμαρά διασχίζει το Βόρειο Αιγαίο, βόρεια της Λήμνου ενώ ο νότιος κλάδος του διαπερνά την περιοχή Τροίας – Κόλπου Αδραμυτίου διαμορφώνοντας ένα πολύπλοκο σύστημα εφελκυστικών πιέσεων διαφόρων διευθύνσεων στη ευρύτερη περιοχή (Chatzipetros, et al., 2013). Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το ελληνικό τόξο έχει παγκόσμια σημασία αφού στο χώρο αυτό έχει ολοκληρωθεί το στάδιο της ολικής συμπίεσης του ωκεανού της Τηθύος και προχωρούν οι πρώτες φάσεις της τελικής σύγκρουσης των δύο ηπείρων (Παπανικολάου & Σίδερης, 2015).

1.2.4 Ηφαιστειότητα στον Ελλαδικό Χώρο

Η καταβύθιση της βαρύτερης ωκεάνιας πλάκας έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή τήξη των πετρωμάτων και την άνοδο τους μέσα από ρήγματα ή άλλες ασυνέχειες, με τη μορφή μάγματος πίσω από τη ζώνη σύγκλισης. Επίσης, η συγκρότηση του ελλαδικού χώρου από ανατολικά προς δυτικά, όπως καταδεικνύεται από τη διάταξη των γεωτεκτονικών ζωνών, οδηγεί στο συμπέρασμα της διαρκούς μετατόπισης του ορογενετικού συστήματος και της ζώνης σύγκλισης προς τα εξωτερικά των ζωνών. Συνακόλουθα, όμοια πορεία ακολουθούν και τα συνοδά φαινόμενα (δημιουργία νησιωτικού τόξου, ηφαιστειότητα, σεισμικότητα). Κατ' αυτόν τον τρόπο, τεκμηριώνεται η χρονική ακολουθία δημιουργίας αλλά και σταδιακής μετατόπισης των παλαιότερων ηφαιστειακών κέντρων στις περιοχές της Ροδόπης, της Λέσβου – Λήμνου, του κεντρικού Αιγαίου και τέλος της εμφάνισής τους στη σημερινή τους θέση (Μουντράκης, 2010), (Εικόνα 16).



Εικόνα 16 Διαδοχικές μετατοπίσεις της ηφαιστειακής δραστηριότητας, Πηγή: (Μουντράκης, 2010)

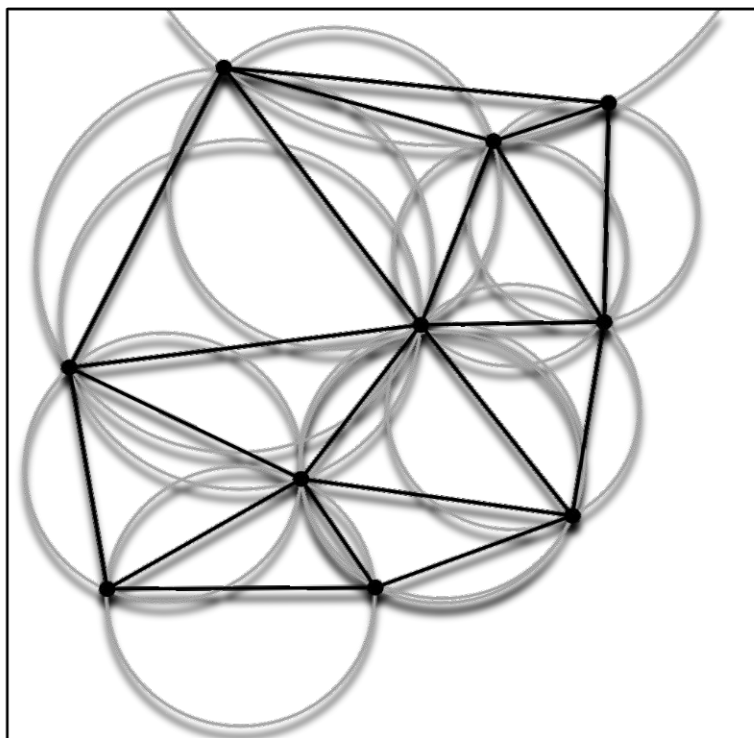
1.3 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) - Digital Elevation Model (DEM) - αποτελεί μια γενικευμένη μορφή απεικόνισης της γήινης επιφάνειας με τις συνέχειες και ασυνέχειες που υπάρχουν σε αυτή. Ορίζεται ως ένα σύνολο διακεκριμένων σημείων με γνωστή οριζοντιογραφική θέση και γνωστό υψόμετρο (υψομετρικά σημεία) τα οποία με την χρήση μαθηματικής συνάρτησης (μαθηματικό μοντέλο) συνθέτουν αξιόπιστα το ανάγλυφο της επιφάνειας του εδάφους. Αυτά τα σημεία μπορεί να έχουν ακανόνιστη μορφή πάνω στην επιφάνεια του εδάφους οπότε ονομάζονται Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων (ΔΑΤ) ή TIN (Triangulated Irregular Network) ή μπορεί να έχουν κατανομή σε κορυφές κανάβου οπότε ονομάζονται GRID (πλέγμα ή κάναβος) (Χατζόπουλος, 2012).

Τα δεδομένα για τη δημιουργία του ΨΜΕ μπορεί να συλλεχθούν με διάφορους τρόπους όπως με τοπογραφικές μετρήσεις, φωτογραμμετρική απόδοση στερεομοντέλου, με τη χρήση νέων τεχνολογιών (LIDAR, IFSAR) καθώς και με την ψηφιοποίηση ισοϋψών καμπυλών από αναλογικούς χάρτες (Χατζόπουλος, 2012).

Το πλέον κατάλληλο μοντέλο για τη δημιουργία ΨΜΕ είναι η ακανόνιστη επίπεδη τριγωνική μορφή, (TIN). Τα υψομετρικά σημεία (σημεία ελέγχου, control points) συνδυάζονται ανά τρία έτσι ώστε να σχηματίζουν μη επικαλυπτόμενα τρίγωνα. Για τη βέλτιστη επιλογή των τριγώνων εφαρμόζονται διάφορα κριτήρια που ικανοποιούνται από το κριτήριο του Deluanay ώστε να ισχύει η συνθήκη: ο περιγεγραμμένος στο επιλεγόμενο τρίγωνο κύκλος δεν πρέπει να περιέχει κανένα άλλο γειτονικό σημείο (Σχήμα 5). Αυτά τα κριτήρια απαιτούν τη μη ύπαρξη επικάλυψης μεταξύ των τριγώνων, το άθροισμα των πλευρών ενός τριγώνου να είναι το ελάχιστο και το σχήμα του να ομοιάζει κατά το δυνατόν προς το ισόπλευρο τρίγωνο. Μετά την εκτέλεση του αλγορίθμου σχηματίζεται ένα συνεχές πλέγμα τριγώνων που καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια του ΨΜΕ. Το υψόμετρο Z μέσα σε κάθε τρίγωνο υπολογίζεται μέσω συνάρτησης (μαθηματικού μοντέλου) από τα υψόμετρα των κορυφών του αντίστοιχου τριγώνου. Τέλος, οι ισοϋψείς που προκύπτουν από αυτό το μοντέλο ομαλοποιούνται με τη χρήση καμπυλόγραμμων συναρτήσεων έτσι ώστε να απαλειφθούν οι γωνίες που παρουσιάζονται στα σημεία τομής των ισοϋψών με τις πλευρές του (Χατζόπουλος, 2012).

Εκτός από τα DEM υπάρχουν και τα Ψηφιακά Μοντέλα Επιφάνειας ή Digital Surface Model (DSM). Η διαφορά τους, σύμφωνα με την Αμερικανική Γεωλογική Υπηρεσία, είναι ότι στα μοντέλα ανύψωσης (DEM's) αποτυπώνεται το ανάγλυφο γυμνού εδάφους, ενώ στα μοντέλα επιφάνειας (DSM's) αποτυπώνονται όλες οι εξάρσεις και ανυψώσεις της γήινης επιφάνειας, που μπορεί να σχετίζονται με γυμνό έδαφος, βλάστηση και τεχνικές κατασκευές (USGS, 2019).



Σχήμα 5 Τριγωνισμός Delaunay, Πηγή: By Gjacquenot - Own work, File:Delaunay circumcircles.png (Nü es), CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30370476>

1.3.1 Χρήσεις των Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους

Οι σημαντικότερες χρήσεις των ΨΜΕ είναι οι παρακάτω:

- i. Υπολογισμός του υψομέτρου Z για οποιοδήποτε σημείο του χάρτη.
- ii. Υπολογισμός της κλίσης για οποιοδήποτε σημείο του χάρτη.
- iii. Υπολογισμός του προσανατολισμού της επιφάνειας του κελιού για οποιοδήποτε σημείο του χάρτη.
- iv. Αναλυτική κατασκευή μηκοτομών σε οποιαδήποτε κατεύθυνση, οι οποίες είναι χρήσιμες σε έργα διαμόρφωσης χώρων, έργα οδοποιίας κ.α.
- v. Αναλυτική κατασκευή κατά πλάτος τομών που βοηθούν στον υπολογισμό του όγκου εκσκαφών από έργα εκχωματώσεων/επιχωματώσεων.

- vi. Αναλυτική κατασκευή ισοϋψών καμπυλών.
- vii. Αναλυτική κατασκευή τρισδιάστατης προοπτικής θέασης της περιοχής.
- viii. Αναλυτική κατασκευή σκιάς σε προοπτικό ή τοπογραφικό περιοχής.
- ix. Καθοδήγηση μη επανδρωμένων οχημάτων, αεροπλάνων και πυραύλων
- x. Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής όμβριων υδάτων και μελέτη και προσδιορισμός : (α) της ταχύτητας και παροχής του νερού από τη βροχόπτωση, (β) της διάβρωσης, (γ) των τοποθεσιών εναπόθεσης φερτών υλικών, (δ) της πλημμύρας, κλπ.
- xi. Αναλυτικός προσδιορισμός ανθρωπογενών παρεμβάσεων στο τοπίο, οπτικοποίηση και απεικόνιση της εξέλιξης τους στο χρόνο πριν καν αυτές εκτελεστούν. Π.χ. εξέλιξη μιας χωματερής μέχρι και την αποκατάσταση του τοπίου.
- xii. Ανάλυση ορατότητας σε περιπτώσεις τηλεπικοινωνιακών κεραιών.
- xiii. Αυτοκαθοδήγηση μη επανδρωμένων επίγειων, ιπτάμενων και υποβρύχιων οχημάτων. (Χατζόπουλος, 2012, σ. 368).

Επιπρόσθετα, το ΨΜΕ, ως αποτύπωση του γυμνού εδάφους, μπορεί να συμβάλλει στην πληρέστερη αποτύπωση τεκτονικών και μορφολογικών δομών του ανάγλυφου ή/και στην αποκάλυψη νέων, ειδικά σε δυσπρόσιτες και πυκνόφυτες περιοχές (Παλαιοπάνης & Ζούρος, 2021).

1.3.2 Κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους

Επειδή, η διακριτική ικανότητα των υπαρχόντων ΨΜΕ δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών της εργασίας καθ' όσον έχουν προκύψει από τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας μικρότερης του 1:50.000 κατασκευάστηκε ΨΜΕ με τη χρήση τοπογραφικών διαγραμμάτων 1:5.000, ακρίβειας 10μ. X 10μ. ενώ σε τμήμα του υδατορέματος της Τζιχράντας η ακρίβεια αγγίζει τα 2μ., με σκοπό την επέκταση σε όλη την περιοχή μελέτης. Χρησιμοποιήθηκαν έξι (06) τοπογραφικά διαγράμματα 1:5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, (Φύλλα Χάρτη: 5618/8, 5628/2, 5628/4, 5619/7, 5629/1, 5629/3). Τα ΦΧ γεωαναφέρθηκαν και στη συνέχεια ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς της περιοχής μελέτης (κύριες, δευτερεύουσες, ενδιάμεσες) και - όπου υπήρχαν - τα γνωστά υψόμετρα φυσικών κορυφών. Δημιουργήθηκαν, ένα αρχείο 293 σημείων και ένα 163 ισοϋψών τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ΨΜΕ.

1.3.2 Γεωαναφορά

Κάθε σημείο μιας ψηφιακής εικόνας, που έχει προέλθει από σάρωση αναλογικού χάρτη ή αεροφωτογραφίας, αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο ζεύγος συντεταγμένων που αναφέρεται σε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς και εξαρτάται από το μέσο ψηφιοποίησης. Για να αποδοθεί συγκεκριμένη γεωγραφική έννοια σε αυτές τις συντεταγμένες, θα πρέπει αυτές να μετατραπούν από το σύστημα αναφοράς του μέσου ψηφιοποίησης στο αντίστοιχο σύστημα απεικόνισης του ψηφιοποιούμενου χάρτη. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται γεωαναφορά ή γεωγραφική προσαρμογή (Tsoulos, et al., 2015). Κατά τη διαδικασία της γεωαναφοράς προκύπτουν ζητήματα που σχετίζονται με την αλλαγή κλίμακας, στροφής και μετάθεσης του χάρτη, όπως και θέματα παραμορφώσεων του χάρτη λόγω παλαιότητας υλικού, υγρασίας, αλλαγών θερμοκρασίας, κ.λπ. Γενικά, για την μετατροπή συντεταγμένων από ένα σύστημα αναφοράς σε κάποιο άλλο έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα. Σύμφωνα με τον Χατζόπουλο Ι. (2012) για την ψηφιοποίηση χάρτη προτείνεται ο αφινικός ή ομοπαράλληλος μετασχηματισμός αφού κάνει διορθώσεις στις μετασχηματισμένες συντεταγμένες σχετικά με τη μη καθετότητα των αξόνων και με τη διαφορά της κλίμακας στους άξονες x και y. Λαμβάνονται υπόψη συνολικά έξι παράμετροι, οι οποίες διαιρούνται σε δύο ανεξάρτητες ομάδες, τριών παραμέτρων, μια για το x και μια για το y, βάση των παρακάτω εξισώσεων:

$$u = a_1 + a_2 x + a_3 y \quad (1.2)$$

$$v = b_1 + b_2 x + b_3 y \quad (1.3)$$

Προϋπόθεση αποτελεί, η ύπαρξη τουλάχιστον τριών – μη συνευθειακών - σημείων με γνωστές συντεταγμένες και στα δύο συστήματα αναφοράς (μέσου ψηφιοποίησης, συστήματος απεικόνισης) έτσι ώστε να υπολογιστούν οι συντελεστές a_1 και b_1 και να γίνει και έλεγχος ακρίβειας. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι επειδή οι εξισώσεις είναι γραμμικές, εάν τα σημεία ελέγχου έχουν γεωγραφικές συντεταγμένες, αυτές θα πρέπει, πριν τη γεωμετρική προσαρμογή, να μετατραπούν σε ορθογώνιο καρτεσιανό σύστημα.

Το παραπάνω μοντέλο ακολουθήθηκε και για τη γεωαναφορά των χαρτών της περιοχής μελέτης. Η προσαρμογή των έξι ΦΧ έγινε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου QGIS (έκδοση 3.14). Η επιλογή και ο αριθμός των σημείων αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την αξιοπιστία του αποτελέσματος, αφού η χωροθέτηση τους ορίζει και την περιοχή του χάρτη που πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός (Tsoulos, et al., 2015), έτσι μετά από διάφορες δοκιμές και ελέγχους, επιλέχθηκαν ως σημεία ελέγχου οι τέσσερις κορυφές των γραμμών του κανάβου.

Όπου οι συντεταγμένες ήταν δυσανάγνωστες, επιλέχθηκαν άλλα καταλληλότερα σημεία. Επειδή τα τοπογραφικά διαγράμματα της ΓΥΣ είναι στο καρτεσιανό σύστημα Hatt οι συντεταγμένες πρώτα μετατράπηκαν σε συντεταγμένες του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87) (Σολιδάκης, χ.χ.). Η διόρθωση έγινε για κάθε ΦΧ ξεχωριστά, χωρίς αρχικό σύστημα αναφοράς και το αρχικό σημείο αγκιστρώθηκε στη ΝΔ κορυφή κάθε ΦΧ και τα υπόλοιπα στις αντίστοιχες κορυφές με δεξιόστροφη κατεύθυνση (Πίνακας 4).

Πίνακας 4 Μετατροπή συντεταγμένων σημείων ελέγχου

Α/Α	Αριθμός Φύλλου Χάρτη	Όνομασία ΦΧ	Χαρακτηριστική Όνομασία	Γωνία ΦΧ	HATT		ΕΓΣΑ '87	
					x	y	x	y
1	5618/8	Μήθυμνα	Ακρ. Πετεινός	ΝΔ	8440.48	5352.55	677992.93	4351702.81
				ΒΔ	8437.40	8128.16	677929.64	4354477.67
				ΒΑ	12749.02	8134.15	682240.11	4354577.20
				ΝΑ	12753.64	5358.54	682304.94	4351802.32
2	5628/2	Μήθυμνα	Μεγαλοβούνι	ΝΔ	8443.53	2576.96	678056.15	4348927.97
				ΒΔ	8440.48	5352.55	677992.93	4351702.81
				ΒΑ	12753.64	5358.54	682304.94	4351802.32
				ΝΑ	12758.25	2582.94	682369.72	4349027.45
3	5628/4	Μήθυμνα	Σκαλοχώρι	ΝΔ	8446.65	-198.62	678119.40	4346153.13
				ΒΔ	8443.53	2576.96	678056.15	4348927.97
				ΒΑ	12758.25	2582.94	682369.72	4349027.45
				ΝΑ	12762.87	-192.63	682434.47	4346252.60
4	5619/7	Μήθυμνα	Άναξος	ΝΔ	12753.64	5358.54	682304.94	4351802.32
				ΒΔ	12749.02	8134.15	682240.11	4354577.20
				ΒΑ	17060.65	8142.51	686550.61	4354679.10
				ΝΑ	17066.80	5366.91	686616.97	4351904.21
5	5629/1	Μήθυμνα	Σκουτάρος	ΝΔ	12758.25	2582.94	682369.72	4349027.45
				ΒΔ	12753.64	5358.54	682304.94	4351802.32
				ΒΑ	17066.8	5366.91	686616.97	4351904.21
				ΝΑ	17072.74	2591.31	686683.08	4349129.32

6	5629/3	Μήθυμνα	Φίλια	ΝΔ	12762.87	-192.63	682434.47	4346252.60
				ΒΔ	12758.25	2582.94	682369.72	4349027.45
				ΒΑ	17072.74	2591.31	686683.08	4349129.32
				ΝΑ	17079.09	-184.27	686749.56	4346354.45

Παρατηρήσεις: Τα σημεία ταυτίζονται μεταξύ τους εκτός από τις 4 εξωτερικές γωνίες που συνιστούν το νέο πολύγωνο χαρτών

1.3.3 Προδιαγραφές Ακρίβειας

Σημαντική παράμετρος για την γεωμετρική προσαρμογή αλλά και την ψηφιοποίηση των πληροφοριών ενός χάρτη είναι η ακρίβεια. Οι προδιαγραφές βασίζονται είτε σε στατιστικές είτε σε εμπειρικές μεθόδους. Η εμπειρική μέθοδος σχετίζεται με την άμεση αντίληψη που υπάρχει στην πράξη και βασίζεται στην κλίμακα του υπό κατασκευή χάρτη. Η ακρίβεια μέτρησης του μήκους μεταξύ δύο γραμμικών στοιχείων εξαρτάται από το πόσο καλά μπορεί να κεντρωθεί το υποδεκάμετρο πάνω σε κάθε στοιχείο. Επίσης, σημαντικό παράγοντα αποτελεί και το ελάχιστο πάχος γραμμής που είναι ορατό στο χάρτη - περίπου 0,15 mm -, το οποίο μπορεί – συνδυαστικά – να οδηγήσει σε πολλαπλάσιο σφάλμα κέντρωσης (Χατζόπουλος, 2012). Οι προδιαγραφές που ακολουθούνται από τη ΓΥΣ και το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ) εκτιμούν συνολικά το πάχος της γραμμής και το σφάλμα κέντρωσης στα 0,3 mm, το εθνικό κτηματολόγιο στα 0,4 mm ενώ οι προδιαγραφές ΗΠΑ σε 0,5 mm. Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιείται ο συντελεστής των 0,5 mm. Η οριζοντιογραφική ακρίβεια σ_{xy} και υψομετρική ακρίβεια σ_z τοπογραφικού χάρτη δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$\sigma_{xy} = (0,5 \times K) / 1000 \quad (1.4)$$

όπου K ο παρονομαστής της κλίμακας του χάρτη και

$$\sigma_z = 0,5 \times I_\delta \quad (1.5)$$

όπου I_δ η ισοδιάσταση του χάρτη (υψομετρική διαφορά ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ισοϋψείς καμπύλες). Οι μονάδες μέτρησης του σ_{xy} εκφράζονται σε μέτρα (m) ενώ του σ_z στις μονάδες μέτρησης της ισοδιάστασης. Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει:

$$\sigma_{xy} = (0,5 \times 5000) / 1000 = 2,5 \text{ m} \quad (1.6)$$

$$\sigma_z = 0,5 \times 4 \text{ m} = 2 \text{ m} \quad (1.7)$$

Επιπλέον, όσον αφορά τα μοντέλα ψηφιακής προσομοίωσης του γεωγραφικού χώρου και ειδικότερα αυτά των Πλεγματικών Δεδομένων (Raster data models), ψηφιδωτής μορφής, που σχετίζονται με την αναπαράσταση συνεχών γεωγραφικών μεταβλητών (π.χ. θερμοκρασία, υψόμετρο, πίεση, κ.λπ.) η έννοια της ακρίβειας σχετίζεται με τη μικρότερη δομική μονάδα που είναι το εικονοστοιχείο (pixel). Στους σαρωμένους χάρτες το μέγεθος του εικονοστοιχείου αντιστοιχεί στην ανάλυση της σάρωσης και αποδίδεται σε κουκίδες ανά ίντσα (dpi, dots per inch) (Κάτσιοι & Τσάτσαρης, 2014). Τα τοπογραφικά διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία είχαν ανάλυση 300 dpi, που σημαίνει ότι μια γραμμή μήκους μιας ίντσας έχει απεικονιστεί με 300 εικονοστοιχεία. Προφανές είναι, ότι όσο μικρότερο είναι το μέγεθος του εικονοστοιχείου, τόσο καλύτερη είναι η απεικόνιση της πληροφορίας.

Όμως, επειδή το μέγεθος της ακρίβειας σχετίζεται και με την διακριτική ικανότητα του χάρτη και την πυκνότητα της απεικονιζόμενης πληροφορίας, η μέγιστη ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί, δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από αυτήν του χάρτη, ήτοι 2,5 m. Οπότε, το συνολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα (TRMS Error, Total Root Mean Square Error) που προκύπτει από τον αφινικό μετασχηματισμό δεν μπορεί να είναι ανεκτό εφ' όσον είναι μεγαλύτερο της διακριτικής ικανότητας του χάρτη, δηλ. για την συγκεκριμένη περίπτωση άνω των 2,5 m. Στους Πίνακες 5 - 10 παρατίθενται όλα τα σημεία και το συνολικό σφάλμα για κάθε ΦΧ. Επίσης, επιπρόσθετος έλεγχος, για την σύμπτωση σημείων, γίνεται με τη χρήση ήδη γεωαναφερμένων βάθρων της ΓΥΣ που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης καθώς και με το υπόβαθρο της Google (Εικόνα 17).

Πίνακας 5 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5618/8

Πίνακας GCP								
Ορατό	ID	Πηγή Χ	Πηγή Υ	Προορ. Χ	Προορ. Υ	dX (pixels)	dY (pixels)	Εναπομείνων (% 1)
✓	0	326.803	-6837.21	677993	4.3517e+06	2.12344	1.09983	2.39137
✓	1	344.319	-261.934	677930	4.35448e+06	-2.1242	-1.10022	2.39222
✓	2	10618.6	-286.587	682240	4.35458e+06	2.12416	1.1002	2.39217
✓	3	10613.3	-6866.41	682305	4.3518e+06	-2.1234	-1.09981	2.39132

Πίνακας 6 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5628/2

Πίνακας GCP								
Ορατό	ID	Πηγή Χ	Πηγή Υ	Προορ. Χ	Προορ. Υ	dX (pixels)	dY (pixels)	Εναπομείνων (% 1)
✓	0	304.019	-6834.66	678056	4.34893e+06	-1.47268	-0.357862	1.51553
✓	1	299.857	-254.992	677993	4.3517e+06	1.47321	0.357991	1.51608
✓	2	10565.9	-262.104	682305	4.3518e+06	-1.47317	-0.357983	1.51604
✓	3	10567.9	-6840.5	682370	4.34903e+06	1.47264	0.357853	1.5155

Πίνακας 7 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5629/1

Πίνακας GCP								
Ορατό	ID ▲	Πηγή Χ	Πηγή Υ	Προορ. Χ	Προορ. Υ	dX (pixels)	dY (pixels)	Εναπομείνων (% 1)
✓	0	337.014	-6809.43	682370	4.34903e+06	0.0899336	0.338753	0.350488
✓	1	328.99	-232.411	682305	4.3518e+06	-0.0899613	-0.338857	0.350596
✓	2	10586	-221.275	686617	4.3519e+06	0.0899596	0.338851	0.350589
✓	3	10597.5	-6799.77	686683	4.34913e+06	-0.0899319	-0.338747	0.350481

Πίνακας 8 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5619/7

Πίνακας GCP								
Ορατό	ID ▲	Πηγή Χ	Πηγή Υ	Προορ. Χ	Προορ. Υ	dX (pixels)	dY (pixels)	Εναπομείνων (% 1)
✓	0	283.172	-6852.79	682305	4.3518e+06	-1.7693	-0.221392	1.7831
✓	1	276.385	-270.807	682240	4.35458e+06	1.76993	0.221471	1.78373
✓	2	10553.4	-269.703	686551	4.35468e+06	-1.7699	-0.221467	1.7837
✓	3	10556.8	-6850.91	686617	4.3519e+06	1.76927	0.221389	1.78307

Πίνακας 9 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5629/3

Πίνακας GCP								
Ορατό	ID ▲	Πηγή Χ	Πηγή Υ	Προορ. Χ	Προορ. Υ	dX (pixels)	dY (pixels)	Εναπομείνων (% 1)
✓	0	280.847	-6890.28	682434	4.34625e+06	0.735646	1.37986	1.56371
✓	1	282.846	-314.283	682370	4.34903e+06	-0.735941	-1.38041	1.56434
✓	2	10543.5	-322.277	686683	4.34913e+06	0.735925	1.38038	1.5643
✓	3	10548.5	-6903.95	686750	4.34635e+06	-0.73563	-1.37983	1.56368

Πίνακας 10 Συντεταγμένες σημείων ελέγχου & αποτελέσματα ελέγχου ακρίβειας ΦΧ 5628/4

Πίνακας GCP								
Ορατό	ID ▲	Πηγή Χ	Πηγή Υ	Προορ. Χ	Προορ. Υ	dX (pixels)	dY (pixels)	Εναπομείνων (% 1)
✓	0	280.042	-6779.92	678119	4.34615e+06	-0.339484	1.27949	1.32376
✓	1	284.212	-205.026	678056	4.34893e+06	0.339602	-1.27993	1.32422
✓	2	10546.3	-226.775	682370	4.34903e+06	-0.339596	1.27991	1.3242
✓	3	10544.3	-6806.9	682434	4.34625e+06	0.339478	-1.27947	1.32374



Εικόνα 17 Γεωαναφορά Φύλλων Χάρτη

1.3.4 Ψηφιοποίηση

Εκτός, από τις συνεχείς μεταβλητές, στον χώρο παρουσιάζονται και διακριτές χωρικές οντότητες που η κάθε μια ορίζεται από μια σειρά συντεταγμένων. Διακρίνονται σε αδιάστατα δεδομένα (σημειακά, ζεύγος συντεταγμένων), μονοδιάστατα (γραμμικά, ακολουθία ζευγών συντεταγμένων) και δισδιάστατα (επιφανειακά, κλειστή ακολουθία συντεταγμένων) και αποτυπώνονται με διανυσματική μορφή (vector) (Κάτσιος & Τσάτσαρης, 2014). Η ψηφιοποίηση αυτών των δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί χειροκίνητα, ημιαυτόματα ή αυτόματα με την κατάλληλη επεξεργασία του χάρτη. Αν και δοκιμάστηκαν ο αυτόματος και ημιαυτόματος τρόπος, λόγω της χαμηλής ανάλυσης των ΦΧ, της πυκνότητας της πληροφορίας (σημειακά, γραμμικά και πληροφοριακά χαρακτηριστικά) και του υψηλού οπτικού θορύβου διαπιστώθηκε ότι απαιτείται σημαντικός χρόνος καθαρισμού και διόρθωσης των λαθών με αμφίβολα αποτελέσματα. Γι' αυτούς τους λόγους επιλέχθηκε η χειροκίνητη διαδικασία η οποία είναι, βέβαια, εξαιρετικά χρονοβόρα, επίπονη και επιρρεπής σε λάθη (ψηφιοποίησης, καταχώρησης, κ.λπ.) τα οποία όμως με κατάλληλους ελέγχους μπορούν να περιοριστούν.

Η ψηφιοποίηση των χωρικών οντοτήτων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό ανοικτού κώδικα QGIS (έκδοση Madeira 3.4). Οι ρυθμίσεις ψηφιοποίησης έγιναν με κριτήριο το μέγιστο ανεκτό σφάλμα και ορίστηκαν στις 1,5 μονάδες χάρτη (Πίνακας 11). Η κλίμακα ψηφιοποίησης ήταν 1:500 για λόγους καλύτερης απεικόνισης και ευκολίας στην ψηφιοποίηση. Αυτό βεβαίως, σε καμία περίπτωση δεν αυξάνει την ανάλυση του χάρτη η οποία εξαρτάται από την κλίμακα του αναλογικού χάρτη. Ψηφιοποιήθηκαν οι ισοϋψείς - ισοδιάστασης 20m - (κύριες, δευτερεύουσες, ενδιάμεσες), το υδρογραφικό δίκτυο και τα όρια της περιοχής μελέτης (Χάρτης 1).

Πίνακας 11 Ρυθμίσεις Ψηφιοποίησης

Ρυθμίσεις Ψηφιοποίησης

Προεπιλεγμένος τρόπος αρπάγης:	Vertex and segment
Προεπιλεγμένη ανοχή αρπάγης:	1,5 μονάδες χάρτη
Ακτίνα εύρεσης επεξεργασμένων κορυφών:	1,5 μονάδες χάρτη



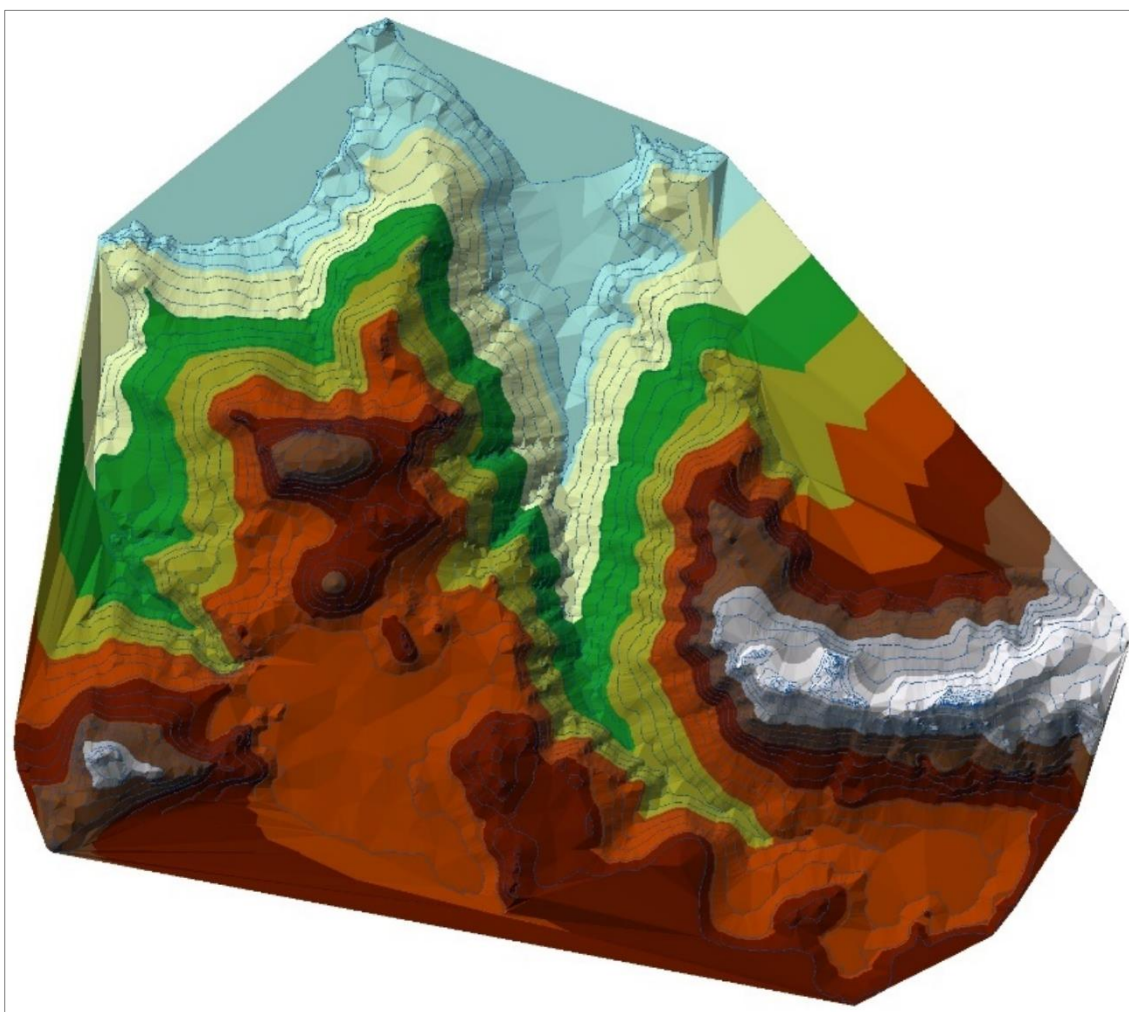
Χάρτης 1 Ισοϋψών και Σημείων

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να επισημανθεί ότι λόγω παλαιότητας των χαρτών (έκδοση 1976) έχουν επέλθει μεταβολές στο ανάγλυφο, ιδιαίτερα στην ακτογραμμή λόγω προσχώσεων ή

διάβρωσης. Αυτές οι αλλαγές ψηφιοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας σύγχρονο υπόβαθρο (χάρτες Google Maps), αφού γεωαναφέρθηκε και αυτό σε σύστημα ΕΓΣΑ '87.

1.3.5 Κατασκευή Μοντέλου Τριγωνικών Ακανόνιστων Δικτύων (TIN)

Όπως αναφέρθηκε ήδη, για την καλύτερη απεικόνιση του ανάγλυφου χρησιμοποιούνται τα Μοντέλα Τριγωνικών Ακανόνιστων Δικτύων (Εικόνα 18). Για την κατασκευή τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σημεία, γραμμές και πολύγωνα. Τα σημεία προστίθενται ως μεμονωμένοι κόμβοι στο TIN, οι γραμμές λαμβάνονται υπόψη για τον σχηματισμό των τριγώνων σύμφωνα με το κριτήριο του Delaunay ενώ τα πολύγωνα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την οριοθέτηση της περιοχής. Επιπλέον, οι γραμμές και τα πολύγωνα μπορούν να οριστούν ως μαλακά ή σκληρά ανάλογα με τη χρήση τους. Οι σκληρές γραμμές ορίζονται εφόσον πρόκειται για ασυνέχειες του εδάφους, π.χ. υδρογραφικό δίκτυο, ακτές, κ.λπ. ενώ οι μαλακές όταν πρόκειται για την οριοθέτηση της περιοχής των δεδομένων του TIN. Γενικά τα μαλακά

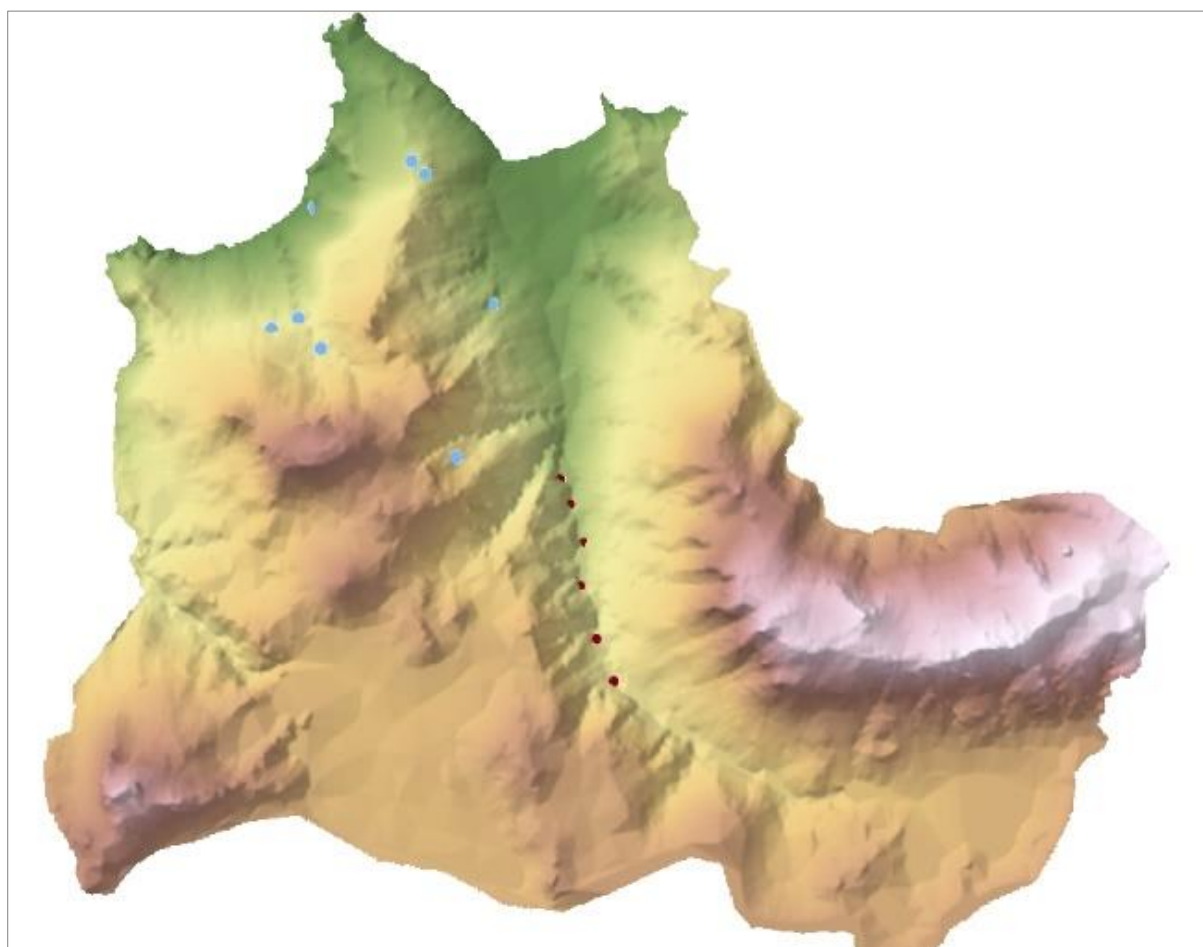


Εικόνα 18 Μοντέλο Τριγωνικών Ακανόνιστων Δικτύων (TIN)

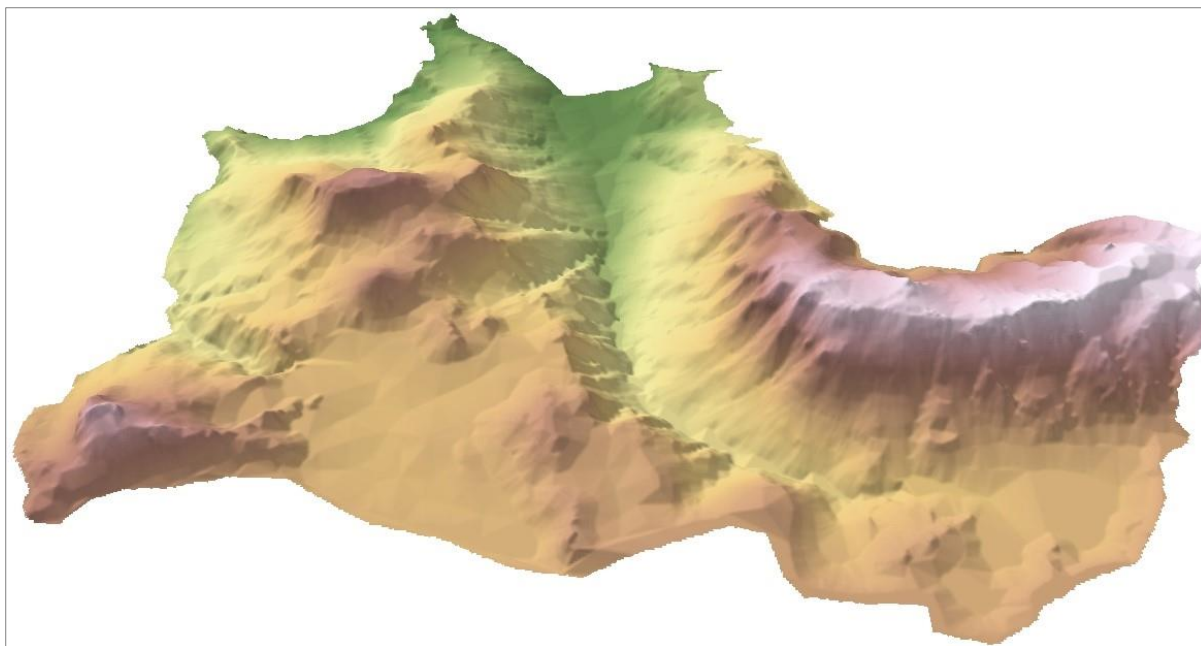
χαρακτηριστικά δεν έχουν ιδιαίτερη γεωμορφολογική σημασία (ArcGis 10.2.2, 2014). Η κατασκευή του μοντέλου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού πακέτου ArcGis Pro.

1.3.6 Κατασκευή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους

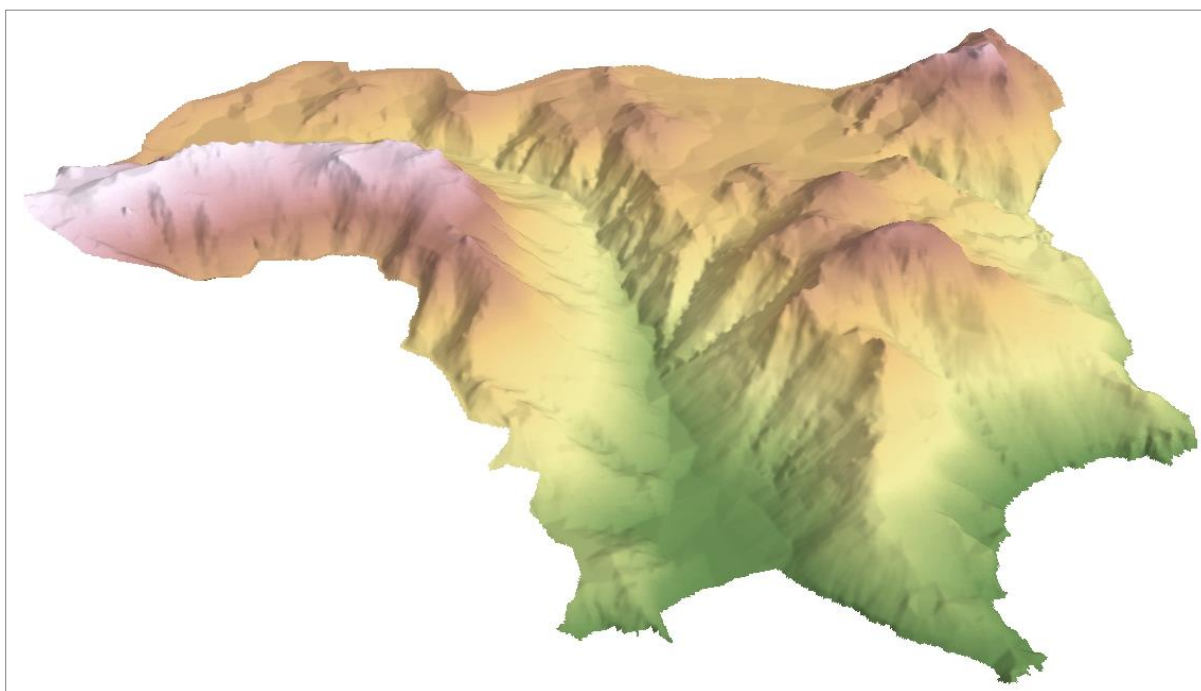
Με τη χρήση του μοντέλου TIN μπορεί να παραχθεί το τελικό αρχείο κυψελωτής μορφής (raster) του ΨΜΕ καθώς και άλλα θεματικά επίπεδα (Εικόνα 19). Κατά τη δημιουργία του αρχείου το κάθε κελί λαμβάνει αυτόματα τιμή (cell size) η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με την έκταση της περιοχής που ψηφιοποιείται αλλά χειροκίνητα καθορίζεται η τιμή 2 που είναι η μικρότερη τιμή που μπορεί να δοθεί στο κελί σύμφωνα με τους περιορισμούς ακρίβειας που έχουν τεθεί. Για την αρχική απεικόνιση ακρίβειας 10μ.Χ10μ. στο κελί δίνεται η τιμή 10. Το ΨΜΕ μπορεί να αναπαρασταθεί και τρισδιάστατα για την καλύτερη μελέτη της περιοχής (Εικόνα 20,21). Για την απόδοση ολόκληρης της περιοχής, οι χάρτες, λόγω των τεχνικών περιορισμών εκτύπωσης σε μέγεθος A4, κατασκευάζονται σε κλίμακα 1:40.000 ή μικρότερη.



Εικόνα 19 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (10μ.Χ10μ.)



Εικόνα 20 Τρισδιάσταση απεικόνιση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, Άποψη από Νότο



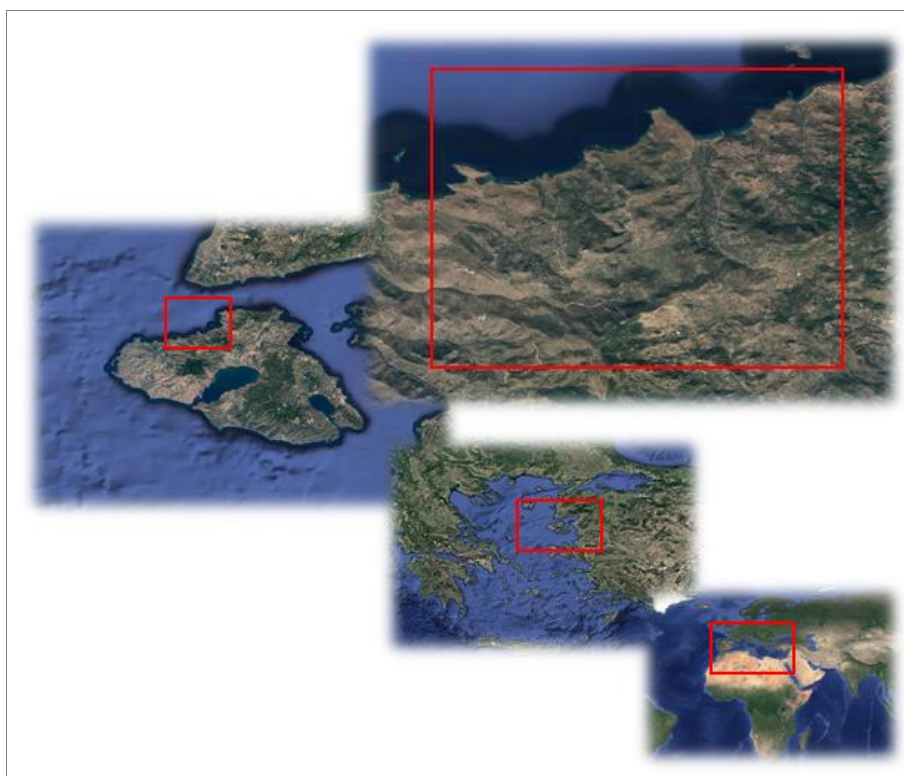
Εικόνα 21 Τρισδιάσταση απεικόνιση Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, Άποψη από Βορρά

Κεφάλαιο 2: Περιοχή Μελέτης

2.1 Νήσος Λέσβος

2.1.1 Εισαγωγικά

Το νησί της Λέσβου (39°18'Β,26°16'Α) βρίσκεται στην περιοχή του βορειοανατολικού Αιγαίου, πλησίον των μικρασιατικών ακτών, περιβρέχεται από αυτό και προστατεύεται εν μέρει από τον κόλπο του Αδραμυτίου (Χάρτης 2). Είναι το τρίτο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας καταλαμβάνοντας έκταση 1.636 τ. χλμ. και έχει μήκος ακτογραμμής 382 χλμ. Ο μόνιμος πληθυσμός του ανέρχεται στους 86.436 κατοίκους (ΦΕΚ Β' 698/20-03-2014, 2014) και η πρωτεύουσά του, Μυτιλήνη, αποτελεί έδρα της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου. Διαιρείται σε δύο Δήμους, τον Δήμο Δυτικής Λέσβου με έδρα την Καλλονή και τον Δήμο Μυτιλήνης με



Χάρτης 2 Περιοχή Μελέτης

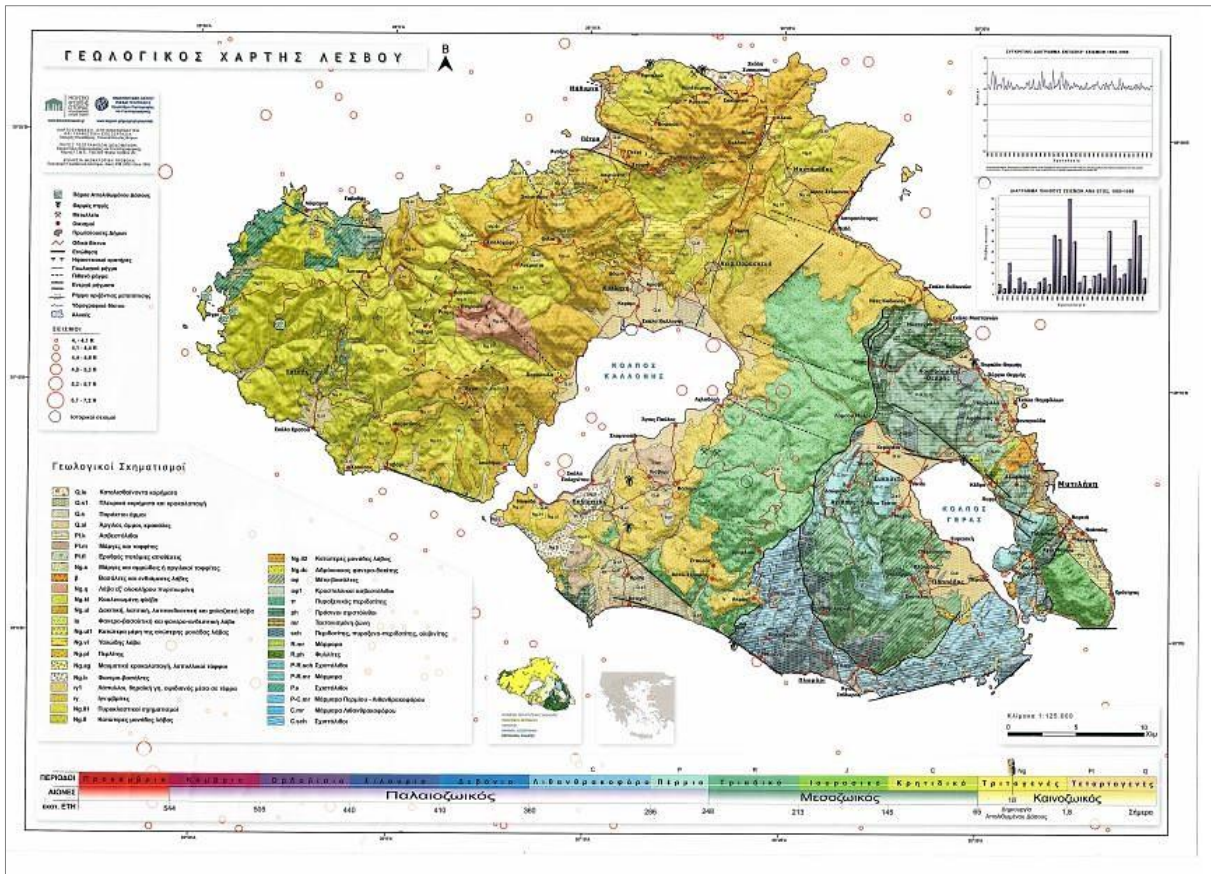
έδρα τη Μυτιλήνη. Μορφολογικά, χαρακτηρίζεται από την παρουσία δύο μεγάλων κόλπων, της Καλλονής και της Γέρας και δύο ορεινών όγκων (Λεπέτυμνος, υψ. 968 μ. και Όλυμπος, υψ. 967 μ.). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι αρκετά πυκνό, όχι όμως συνεχούς ροής, με κυριότερα υδατορέματα τους χειμάρρους του Τσικνιά και του Ευεργέτουλα. Υπάρχει πληθώρα μικρών πεδιάδων και πλούσιων υδροβιότοπων στους οποίους φιλοξενούνται σημαντικά είδη

ορنيθοπανίδας. Το σύνολο του νησιού έχει αναγνωριστεί ως Νήσος Λέσβος – Παγκόσμιο Γεωπάρκο UNESCO λόγω της τεράστιας ποικιλίας γεωλογικών μνημείων, τοπίων φυσικού κάλλους, οικοτόπων και πολιτιστικών μνημείων που διαθέτει.

2.1.2 Γεωλογία - Ηφαιστειότητα

Η περιοχή του Αιγαίου - όπως προαναφέρθηκε - βρίσκεται σε διαρκή κινητικότητα αφού πιέζεται από την μικροπλάκα της Ανατολίας προς τα ΝΔ. Ειδικότερα στο Βόρειο Αιγαίο, πέρα από τις γενικές πιέσεις καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει το ρήγμα της Ανατολίας το οποίο εμφανίζεται σε δύο κλάδους. Ο βόρειος κλάδος από τη θάλασσα του Μαρμαρά διασχίζει το Βόρειο Αιγαίο, βόρεια της Λήμνου ενώ ο νότιος κλάδος του διαπερνά την περιοχή Τροίας – Κόλπου Αδραμυτίου διαμορφώνοντας ένα πολύπλοκο σύστημα εφελκυστικών πιέσεων διαφόρων διευθύνσεων στη ευρύτερη περιοχή (Chatzipetros, et al., 2013) που επηρεάζει και το νησί της Λέσβου. Επίσης, ενεργά ρήγματα που έχουν χαρτογραφηθεί πάνω στο νησί αποδεικνύουν την ενεργό τεκτονική που έχει καθορίσει και τη μορφολογία του νησιού. Εξίσου, σημαντικός παράγοντας που επίδρασε στη διαμόρφωση της μορφολογίας του νησιού ήταν και η έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα που λειτούργησε πριν από 21,5 έως και 16,5 εκ. χρόνια πριν. Τα κυριότερα ηφαιστειακά κέντρα βρίσκονται στον άξονα ΒΑ – ΝΔ, με μεγαλύτερο το στρωματοηφαίστειο του Λεπέτυμνου, της Βατούσας, που σχετίζεται με τη δημιουργία του Απολιθωμένου Δάσους στην περιοχή του Σιγρίου και τα μικρότερα ηφαίστεια του Μεσότοπου, της Άγρας και της Ανεμότιας.

Συνοπτικά, κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού αιώνα ο ωκεανός της Τιθύος καταστρέφεται και οι έντονες γεωδυναμικές διεργασίες της σύγκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών Ευρασίας και Αφρικής τοποθετούν τις οφιολιθικές μάζες πάνω στο γεωλογικό υπόβαθρο των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της Λέσβου (Βαλιάκος, 2018). Ακολούθως, η δράση του συμπλέγματος ρηγμάτων της Ανατολίας οδηγεί στη σταδιακή αποκόλληση του νησιού στα βόρεια από τον κόλπο του Αδραμυτίου και αφετέρου στον κατακλυσμό από θάλασσα, την μεσοπαγετώδη περίοδο, της περιοχής του Στενού της Μυτιλήνης από νοτιοανατολικά, που οδήγησε και στον τελικό διαχωρισμό του από την ξηρά. Η τελική μορφή του νησιού προέκυψε από συνεχείς ηφαιστειακές εκρήξεις που προέρχονταν από το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου, το οποίο πριν 20 εκ. χρόνια βρισκόταν αρκετά βορειότερα στην περιοχή της Λέσβου καθώς και από τη σύγχρονη τεκτονική.



Χάρτης 3 Γεωλογικός χάρτης της Λέσβου (Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Λάσους Λέσβου, 2015)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί διακρίνονται σε πέντε κύριες ενότητες πετρωμάτων (Χάρτης 3).

- **Αυτόχθονη ενότητα:** Στο νοτιοανατολικό άκρο κυριαρχούν τα παλαιότερα πετρώματα - μεταμορφωσιγενούς προέλευσης που ανήκουν στην πελαγονική ζώνη - ηλικίας περίπου 300 εκ. ετών. Αποτελούν ως αυτόχθονη ενότητα το γεωλογικό υπόβαθρο της Λέσβου, αποτελούμενα από σχιστόλιθους, χαλαζίες, φυλλίτες και μεταψαμμίτες, σε εναλλαγές με μάγμαρα και κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, ηλικίας Λιθανθρακοφόρου – Περιμίου. Μικρές εμφανίσεις στη Δυτική Χερσόνησο αποτελούνται από μεταψαμμίτες, σερικιτικούς-ψαμμιτικούς σχιστόλιθους, χαλαζιακούς σχιστόλιθους, χαλαζιακά λατυποπαγή και φυλλίτες.
- **Αλλόχθονη ενότητα:** Αποτελείται από σχηματισμούς του ωκεανού της Τιθύος και συνίσταται από δύο τεκτονικά καλύμματα, οφιολιθικών πετρωμάτων και ηφαιστειοϊζηματογενών σχηματισμών. Το οφιολιθικό κάλυμμα περιλαμβάνει βασικά και υπερβασικά πετρώματα, δουνίτες, χαρζβουργίτες, φλεβικές εμφανίσεις γάββρων, διαβάσες, μαξιλαροειδείς βασαλτικές λάβες και τόφους. Η κύρια εμφάνιση του καλύμματος εντοπίζεται στην Κεντρική Λέσβο και στη Χερσόνησο της Αμαλής, νότια της πόλης της Μυτιλήνης.

Ακολουθώντας, το τεκτονικό κάλυμμα των ηφαιστειοϊζηματογενών σχηματισμών αποτελείται από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους, πρασινίτες και πρασινόλιθους που πιθανά αποτελούν τα πελαγικά ιζήματα που ακολουθούν την οφιολιθική ακολουθία. Κυρίως εμφανίζονται στις νότιες ακτές του νησιού.

- Λιμναία Νεογενή Ιζήματα: Η τρίτη ενότητα περιλαμβάνει μάργες και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους ηλικίας άνω Ολιγόκαινου – Κάτω Μειόκαινου και εμφανίζεται σε περιορισμένη έκταση στην περιοχή Λαψάρνων – Γαββαθά. Στα στρώματα αυτά βρέθηκαν σημαντικά τεκμήρια της χερσαίας πανίδας που φιλοξενούνταν στην περιοχή πριν 19 εκ. χρόνια, όπως κελύφη από γαστερόποδα, υπολείμματα από μικρά αμφίβια και ερπετά, δόντια από αλιγάτορες, σκαντζόχοιρους, τυφλοπόντικες, κ.α.

- Ηφαιστειακοί σχηματισμοί: Τα 2/3 της έκτασης του νησιού καλύπτονται από ηφαιστειακά πετρώματα Τριτογενούς ηλικίας, που συνδέονται με την έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα που έλαβε χώρα κατά το Κάτω Μειόκαινο.

- Νεογενείς και Τεταρτογενείς Αποθέσεις: Η τελευταία ενότητα εμφανίζεται σε περιορισμένη έκταση στις πεδινές και παράκτιες περιοχές. Αποτελείται από Νεογενή θαλάσσια και λιμναία ιζήματα, Τεταρτογενείς αποθέσεις (άμμους, μάργες, αργίλους), ερυθρές ποτάμιες αποθέσεις, ασβεστόλιθους, χαλαρούς αλλουβιακούς σχηματισμούς, παράκτιες άμμους, κροκαλοπαγή και κορήματα. Οι Πλειοκαινικές αποθέσεις αποτελούνται από λευκούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους με ενστρώσεις ψαμμιτών, κροκαλοπαγή, υπόλευκες μάργες και αργίλους που περιέχουν αρκετά απολιθωματοφόρα στρώματα με ασπόνδυλους οργανισμούς (Ζούρος, et al., 2015).

Εν κατακλείδι, πρόκειται για έναν συνδυασμό που δίνει τη δυνατότητα στον ερευνητή να μελετήσει σε μια διαδρομή 90 χλμ. όλες σχεδόν τις χαρακτηριστικές φάσεις δημιουργίας των πετρωμάτων καθώς και της γεωμορφολογικής εξέλιξης όλου του Β. Αιγαίου, οδηγώντας στην εξαγωγή χρησιμων συμπερασμάτων για τη διαδικασία σχηματισμού και διαμόρφωσης του στερεού φλοιού της γης συνολικά.

2.1.3 Γεωτεκτονικό Καθεστώς

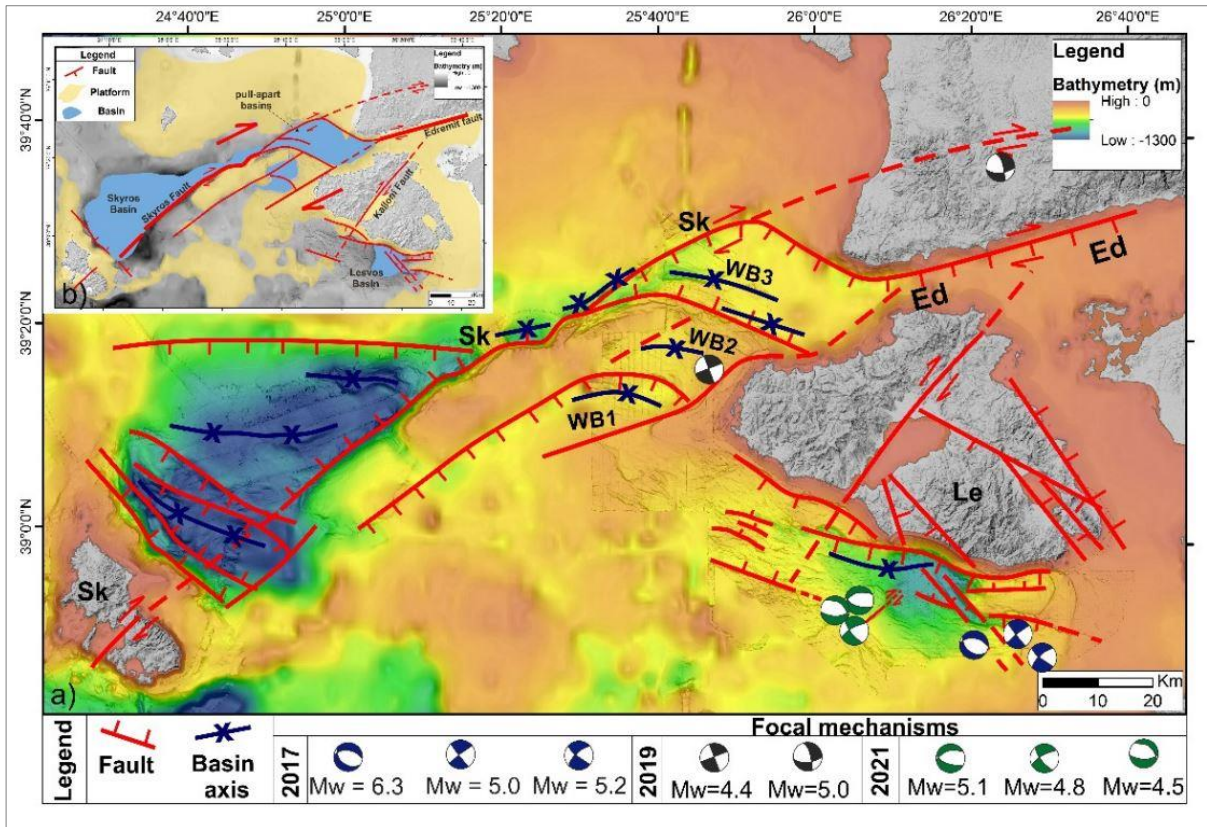
Η περιοχή του Αιγαίου αποτελεί μια από τις πιο ενεργές τεκτονικά περιοχές της Ευρώπης με περίπλοκο τεκτονικό καθεστώς που παράγει σεισμούς διαφορετικών διευθύνσεων και ρήγματα διαφόρων τύπων (Caruto, et al., 2012), (Parazachos & Komninakis, 1971). Το νησί της Λέσβου ευρισκόμενο σε αυτή την περιοχή επηρεάζεται τόσο από τις εφελκυστικές τάσεις που επικρατούν στο εσωτερικό του ελληνικού τόξου αλλά και από τον νότιο κλάδο του δεξιόστροφου ρήγματος της Ανατολίας στην περιοχή του Αδραμυτίου.

Το εφελκυστικό στάδιο οφείλεται στην ολίσθηση της λιθοσφαιρικής πλάκας και την σταδιακή μετακίνηση προς νότο. Εκτιμάται ότι ξεκίνησε πριν από 45 Ma και χωρίζεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο – από το Μέσο Ηώκαινο έως το Μέσο Μειόκαινο – καταγράφεται ο σχηματισμός ιζηματογενών λεκανών (Θράκης, Αξιού – Θερμαϊκού, Μεσοελληνικής Αύλακας) και η εκταφή των μεταμορφωμένων υψηλής θερμοκρασίας και ζωνών υψηλής πίεσης. Στο δεύτερο στάδιο που ακολούθησε, ο εφελκυσμός δημιούργησε Νεογενείς λεκάνες που κυριαρχούν στην περιοχή του Αιγαίου και προκάλεσε την αποκοπή των μεταμορφωμένων πετρωμάτων από μεγάλης γωνίας κανονικά ρήγματα και τη δημιουργία δεξιόστροφων ρηξιγενών ζωνών (Μουρουζίδου, 2021).

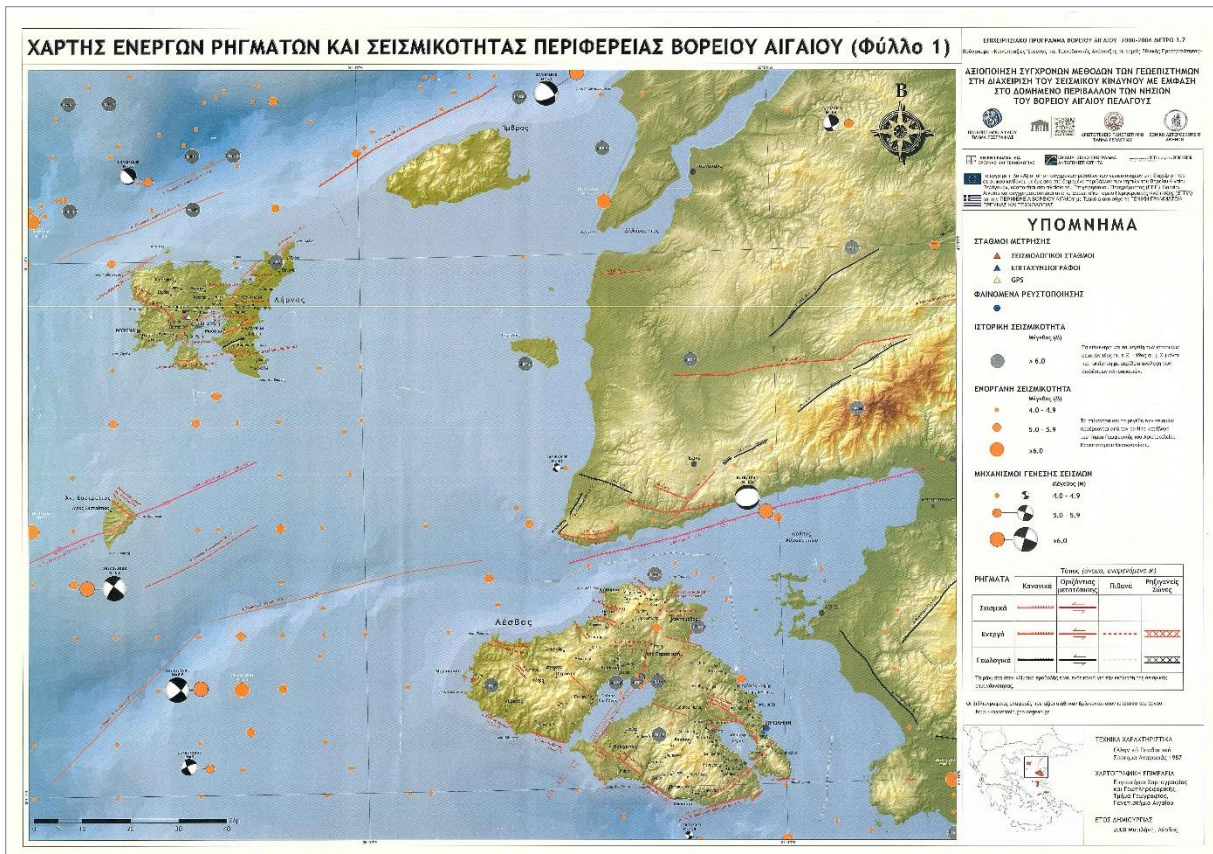
Ο χώρος του Β. Αιγαίου χαρακτηρίζεται από δύο κύριες λεκάνες, την τάφρο του Β. Αιγαίου και την τάφρο της Σκύρου της οποίας το νότιο περιθώριο οριοθετεί και διαχωρίζει με ρήγμα ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης τη λεκάνη της Λέσβου (Χάρτης 4). Η λεκάνη αυτή αποτελεί δομή ημι-τάφρου και υποδιαιρείται σε μικρότερες λεκάνες με διαφορετικά μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα η Λεκάνη της Δυτικής Λέσβου οριοθετείται από το δεξιόστροφο ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης της Αγίας Παρασκευής ενώ στο βορειοδυτικό περιθώριό της αναπτύσσονται τρεις αβαθείς λεκάνες (300 – 400μ.) με περιθώρια μεγάλων κλίσεων ΔΒΔ – ΑΝΑ διεύθυνσης, πιθανώς προερχόμενα από κανονικά ρήγματα. Ο συνδυασμός βαθυμετρικών δεδομένων των τάφρων Σκύρου και Λέσβου δείχνει ότι οι τρεις λεκάνες αποτελούν αποτέλεσμα της δράσης της ομάδας ρηγμάτων οριζόντιας ολίσθησης που αναπτύσσονται μεταξύ των ρηγμάτων Σκύρου και Αδραμυτίου (Νομικού, et al., 2021).

Οι τάσεις αυτές σε συνδυασμό με προηγούμενα καθεστώτα δημιουργούν ένα πολύπλοκο σύστημα ρηγμάτων και σχετικά αυξημένη σεισμικότητα (Χάρτης 5).

Η επικράτηση των συγκεκριμένων τάσεων διαχωρίζεται σε τρεις φάσεις (Mountrakis, et al., 2001) (Θωμαΐδου, 2009):



Χάρτης 4 Μορφοτεκτονικός Χάρτης Λεκάνης Σκίρου & Δυτικών Περιθωρίων Λέσβου, Πηγή: (Nomikou, et al., 2021)



Χάρτης 5 Σεισμικότητα και Ενεργά ρήγματα στο Βόρειο Αιγαίο, Πηγή: (Εργαστήριο Χαρτογραφίας & Γεωπληροφορικής, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2008)

- Φάση D1: (Συμπιεστικές τάσεις) Η οφιολιθική μάζα τοποθετήθηκε πάνω στα αυτόχθονα πετρώματα κατά την πρώτη αλπική ορογενετική φάση του Ανώτερου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού (145 – 55 εκ. χρόνια πριν). Σε αυτή την περίοδο κυριαρχούν και στις δύο μάζες οι έντονες πτυχώσεις. Ακολούθως, κατά την περίοδο του Τριτογενούς (55 – 5,3 εκ. χρόνια πριν), στην οποία και ολοκληρώθηκε η τελική αλπική ορογενετική φάση πραγματοποιήθηκε πάχυνση με λεπίωση των πετρωμάτων και συσσώρευση των καλυμμάτων. Η συμπιεστική αυτή φάση αποτυπώνεται στα πετρώματα με την ύπαρξη ανάστροφων ρηγμάτων που συνοδεύονται από μικροπτυχές και άλλες συμπιεστικές δομές. Η συγκεκριμένη κατηγορία ρηγμάτων εμφανίζεται υπολειμματικά καθώς κυριαρχούν οι μεταγενέστερες δομές.

- Φάση D2: (Εφελκυστικές τάσεις) Την περίοδο του Ολιγόκαινου – Κάτω Μειόκαινου (23 – 5,3) κυριάρχησαν οι εφελκυστικές τάσεις που προκάλεσαν την κατάρρευση του συσσωρευμένου ορογενούς, την απόρριψη των καλυμμάτων και την αποκάλυψη της αυτόχθονης ενότητας. Τα ρήγματα αυτά (αποκόλλησης, με μικρή γωνία κλίσης) κυριαρχούν κυρίως στα πετρώματα αλπικής ηλικίας.

- Φάση D3: (Νεοτεκτονική) Η νεοτεκτονική δραστηριότητα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων ρηγμάτων που διαμόρφωσαν τη μορφολογία του νησιού με τεκτονικές ανυψώσεις και βυθίσματα. Τα ρήγματα είναι κανονικά και οριζόντιας μετατόπισης και καθόρισαν τη σημερινή μορφή και τις σχέσεις των γεωλογικών σχηματισμών.

Σε συνδυασμό με νεότερες έρευνες (Μουρουζίδου, 2021), η νεοτεκτονική δραστηριότητα θεωρείται ότι εκδηλώθηκε με τέσσερα τουλάχιστον τεκτονικά γεγονότα, που έλαβαν χώρα από το Μειόκαινο ως σήμερα, μετά το τέλος της ηφαιστειακής δραστηριότητας (Εικόνα 22).

- Στο αρχικό εφελκυστικό πεδίο (P1), με διεύθυνση με ΒΔ-ΝΑ και με τον άξονα μέγιστης τάσης (σ_1) σε ΒΑ – ΝΔ διεύθυνση δημιουργήθηκαν αριστερόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ.

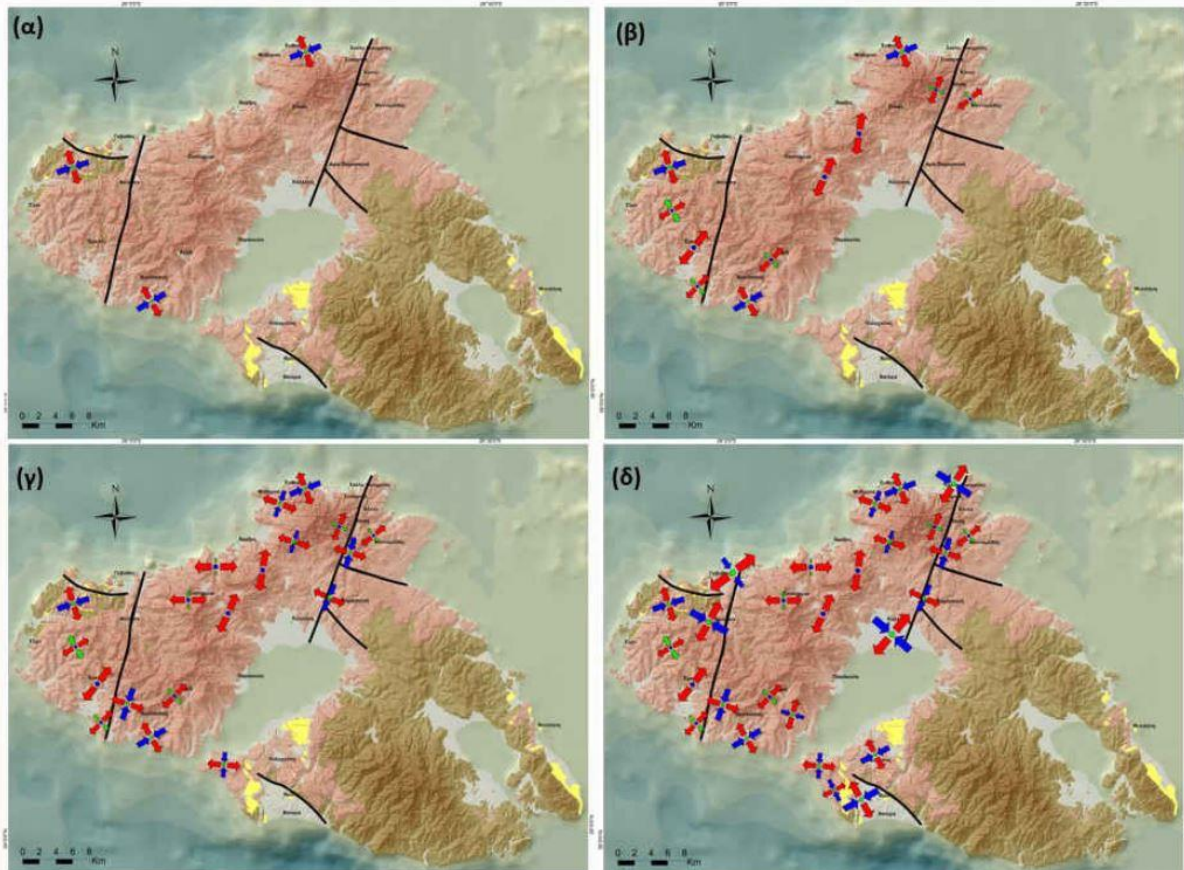
- Σε δεύτερη φάση (P2), λειτούργησε εφελκυστικό πεδίο διεύθυνσης ΒΒΑ – ΝΝΔ έως ΒΑ – ΝΔ. κατά τη διάρκεια του Πλειόκαινου προκλήθηκαν κανονικά ρήγματα ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης και αριστερόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης ΒΒΑ – ΝΝΔ διεύθυνσης.

- Ακολούθως (P3), η διεύθυνση του εφελκυστικού πεδίου (ΔΒΔ-ΑΝΑ) σε συνδυασμό με τον άξονα συμπίεσης (σ_1) σε διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, δημιούργησε πλαγιοκανονικά ρήγματα από ΒΒΔ-ΝΝΑ έως ΒΒΑ-ΝΝΔ

- Κατά το Πλειστόκαινο (P4) προκλήθηκαν εφελκυστικές τάσεις διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ, με τον άξονα συμπίεσης (σ_1) να έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ στις βόρειες ακτές ενώ στις

νότιες φαίνεται να υπερισχύει εφελκυσμός ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης, με τον (σ1) να έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

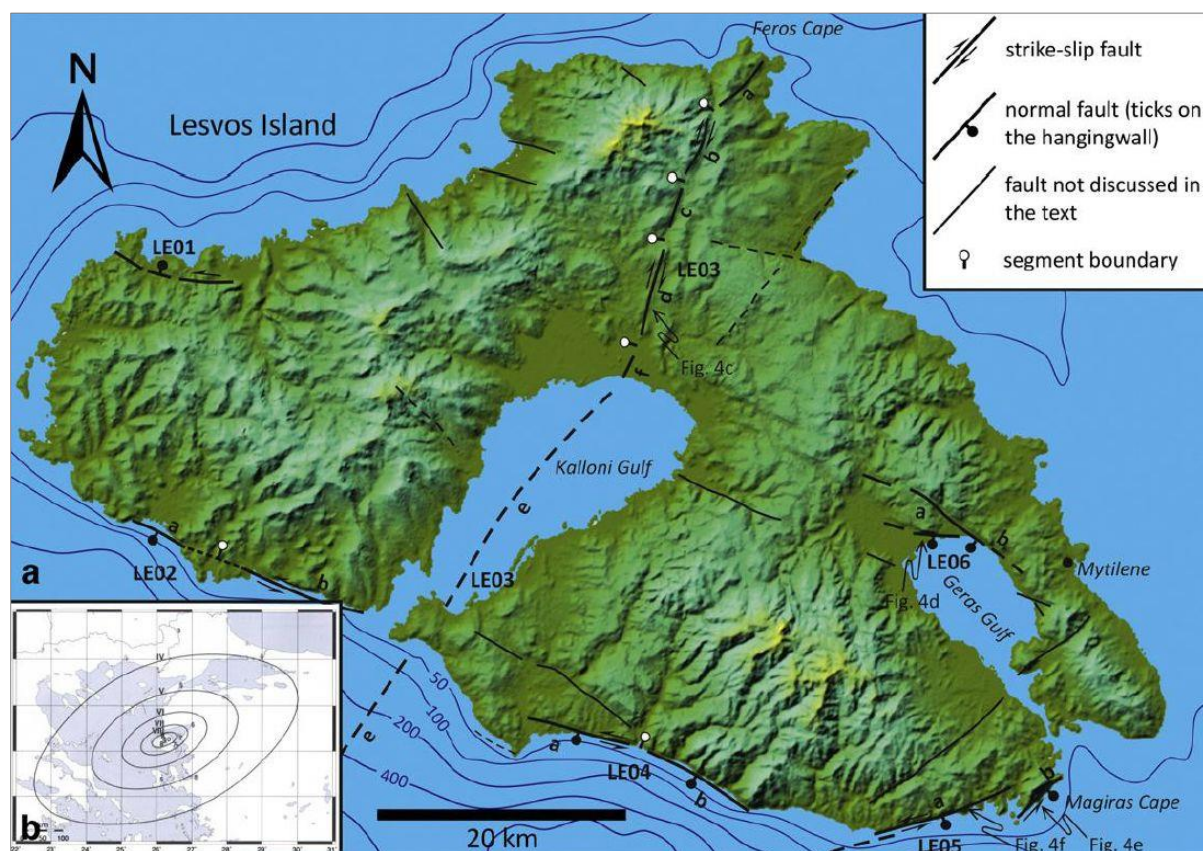
Το παραπάνω καθεστώς προκάλεσε κανονικά ρήγματα αλλά και επαναδραστηριοποίηση των προϋπαρχουσών δομών και εκτιμάται ότι είναι το σύγχρονο τεκτονικό καθεστώς της περιοχής με πλούσια σεισμική δραστηριότητα.



Εικόνα 22 Τα τέσσερα τεκτονικά γεγονότα, (α) το παλιότερο τεκτονικό γεγονός (P1), (β) η αμέσως επόμενη φάση (P2), (γ) η φάση (P3) και τέλος στο (δ) η νεότερη φάση (P4)

Συνοψίζοντας, η Λέσβος δεν ακολουθεί μόνο το μοτίβο των γενικών τάσεων που επικρατούν στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου (εφελκυστικές τάσεις Β – Ν, κανονικά ρήγματα Α – Δ) αλλά παρουσιάζει πολυπλοκότητα και περισσότερες διευθύνσεις ρηγμάτων (δεξιόστροφα ΒΑ – ΝΔ και αριστερόστροφα ΒΔ – ΝΑ) αποτελώντας – ως ευρύτερη περιοχή – έναν μεταβατικό χώρο στον οποίο αναπτύσσονται τάσεις από τη δράση του εφελκυστικού πεδίου εξαιτίας της υποχώρησης της ζώνης υποβύθισης προς τα ΝΔ όσο και από τη δράση του δεξιόστροφου ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης που έχει ως αποτέλεσμα την πλευρική προς τα δυτικά μετακίνηση της μικροπλάκας της Ανατολίας. .

Σύμφωνα με εργασίες των Chatzipetros, et al (2013), (Χάρτης 6) και (Mourouzidou, et al., 2004) αλλά και με την Ελληνική Βάση Δεδομένων Ενεργών Ρηγμάτων (GreDaSS, 2021), (Χάρτης 7), τα κύρια ενεργά ρήγματα που παρουσιάζονται στη νήσο είναι τα παρακάτω:



Χάρτης 6 Κύρια ενεργά ρήγματα στη νήσο Λέσβο, Πηγή: (Chatzipetros, et al., 2013)

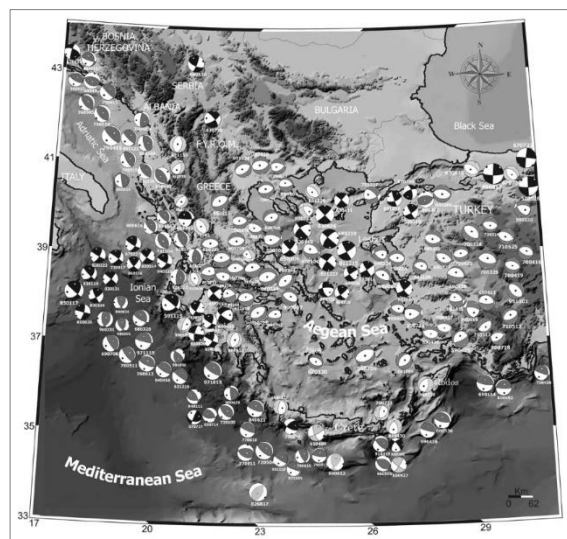
- Ζώνη ρηγμάτων Γαββαθά ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης
- Ρήγμα Σκάλας Ερεσού ΔΒΔ – ΑΝΑ διεύθυνσης
- Ρήγμα Αγίας Παρασκευής ΒΒΑ – ΝΝΔ διεύθυνσης, οριζόντιας ολίσθησης
- Ρήγμα Πολιχνίτου – Πλωμαρίου ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης
- Ρήγμα Αγίου Ισιδώρου – Ακρωτηρίου Μάγειρα ΔΝΔ – ΑΝΑ διεύθυνσης, κανονικό
- Σύστημα Ρηγμάτων Κόλπου Γέρας ΒΒΔ – ΝΝΑ διεύθυνσης.

Επιπρόσθετο στοιχείο αποτελούν οι μηχανισμοί γένεσης που πιστοποιούν την ύπαρξη μιας ευρείας ζώνης ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης ΒΑ – ΝΔ διεύθυνσης που ξεκινά από το δυτικό τμήμα του ρήματος της Β. Ανατολίας και συνεχίζει στο Β. Αιγαίο μέχρι την ενδοχώρα της ηπειρωτικής Ελλάδας, όπου και διακόπτεται για να ξαναεμφανιστεί στη Δ. Πελοπόννησο και τα Ιόνια νησιά (Εικόνα 23). Αυτή η ζώνη είναι το κινηματικό αποτέλεσμα της προς τα δυτικά κίνησης της μικροπλάκας της Ανατολίας και της γρήγορης ΝΔ κίνησης του Αιγαίου.

Σύμφωνα με τους Παπαζάχος, κ.α. (1998) αυτό δεν αποκλείει την ύπαρξη κανονικών ή ανάστροφων ρηγμάτων που οφείλονται στα εφελκυστικά ή συμπιεστικά πεδία της ευρύτερης περιοχής.



Χάρτης 7 Ενεργά Ρήγματα στο Αιγαίο, Πηγή δεδομένων: (GreDaSS, 2021)



Εικόνα 23 Λύσεις μηχανισμών γένεσης επιφανειακών σεισμών $M > 5,5$ (1953-1999), Πηγή: (Kyrtazi & Louvari, 2003)

2.1.4 Ιστορική και Ενόργανη Σεισμικότητα

Η ενόργανη καταγραφή των σεισμών ξεκίνησε το 1900 και έδωσε μεγάλο όγκο δεδομένων για τη σεισμικότητα της περιοχής. Η μελέτη των σεισμών που έλαβαν χώρα κατά τους ιστορικούς χρόνους μέσα από παραδόσεις, γραπτές αναφορές ή έμμεσους τρόπους (π.χ. ανασκαφές) είναι εξίσου σημαντική. Η προσπάθεια παραμετροποίησης αυτών των σεισμών και η σύνταξη όσο το δυνατόν πιο ομοιογενούς καταλόγου διευρύνει χρονικά τις πληροφορίες για τη σεισμικότητα και μπορεί να συμβάλλει στην καλύτερη εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας και συνακόλουθα στον σχεδιασμό αντισεισμικής προστασίας και στην αύξηση της ανθεκτικότητας δομών, κατασκευών και κοινωνιών στην ευρύτερη περιοχή.

Ο κατάλογος που ακολουθεί (Πίνακας 12), συντάχθηκε με πληροφορίες από διάφορες πηγές (Ι.Τ.Σ.Α.Κ, 2017), (Παπαδόπουλος, 2015), (Ταξειδής, 2003), (Χουτζαίος, 1998), (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 1989), (Καμπούρης, 1978). Περιλαμβάνει σεισμούς ιστορικών χρόνων και ενόργανων μετρήσεων μεγέθους $M > 4,5$ ώστε να απεικονίζει με σχετική επάρκεια τη σεισμικότητα στο σύνολο της περιοχής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η δραστηριότητα είναι συνεχής, τόσο με μικρότερα συμβάντα πλησίον της περιοχής όσο και με μεγαλύτερα στην ευρύτερη περιοχή που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον αντισεισμικό σχεδιασμό.

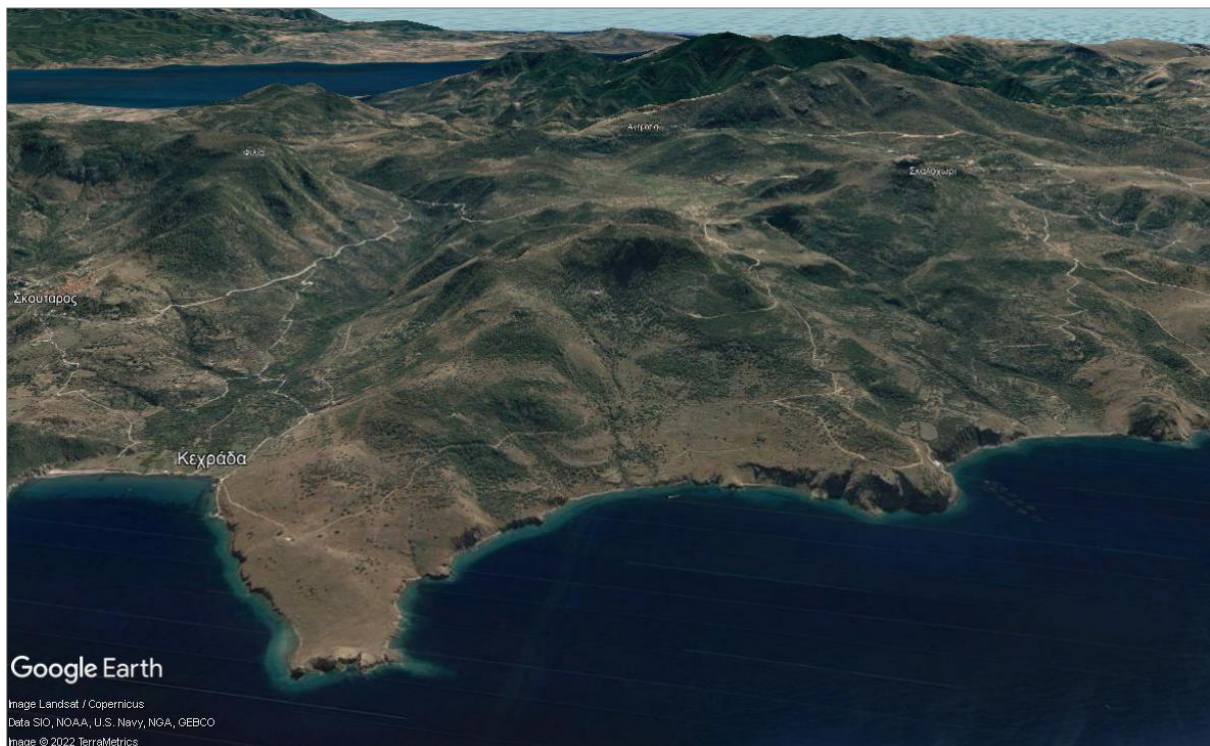
Πίνακας 12 Σεισμικότητα Νήσου Λέσβου

Ημερομηνία	Γεωγρ. Πλάτος °B	Γεωγρ. Μήκος °A	Βάθος	Μέγεθος	Τοποθεσία	Ένταση
231 π.Χ.	39.200	26.300	Επιφανειακός	6.8	Αρχαία Πύρρα, Αρίσβη	X
167 π.Χ.	39.285	26.012	Χωρίς στοιχεία	Χωρίς στοιχεία	Αρχαία Άντισσα	IX
151 μ.Χ.	39.100	26.550	Επιφανειακός	6.8	Μυτιλήνη	X
1383/08/06	39.100	26.550	Επιφανειακός	6.8	Μυτιλήνη	X
<1528	39.100	26.550	Χωρίς στοιχεία	6.6	Μυτιλήνη	X
1636/02/17	39.233	26.208	Επιφανειακός	6.2	Καλλονή	VI-VII
1755/02/24	39.100	26.550	Επιφανειακός	6.7	Λέσβος	IX-X
1768/06/10	38.983	26.367	Χωρίς στοιχεία	Χωρίς στοιχεία	Πλωμάρι	V-VI
1845/10/11	39.016	26.033	Επιφανειακός	6.8	Βρίσα, Λισβόρι	X
1865/07/23	39.066	26.033	Επιφανειακός	6.7	Μόλυβος	IX
1867/03/07	39.050	26.050	Επιφανειακός	6.8	Κουλουμδάδος, (Νάπη)	X
1882	39.131	26.003	Χωρίς στοιχεία	Χωρίς στοιχεία	Μεσότοπος	Χωρίς στοιχεία
1889/10/25	39.033	25.150	Επιφανειακός	6.7	Χίδηρα	IX
1920/11/27	39.033	26.083	Επιφανειακός	5.1	Μυτιλήνη	IV
1921/07/24	38.133	26.083	Επιφανειακός	5.2	Μυτιλήνη	Χωρίς στοιχεία
1950/07/08	39.500	25.133	Επιφανειακός	4.9	Βατούσα	VII
1954/11/04	39.000	26.066	5km	4.5	Ερεσός	V
1956/11/20	39.500	26.050	5km	5.3	Πέτρα	VI
1959/11/29	38.150	26.100	5km	5.3	Σκόπελος Γέρας	VI

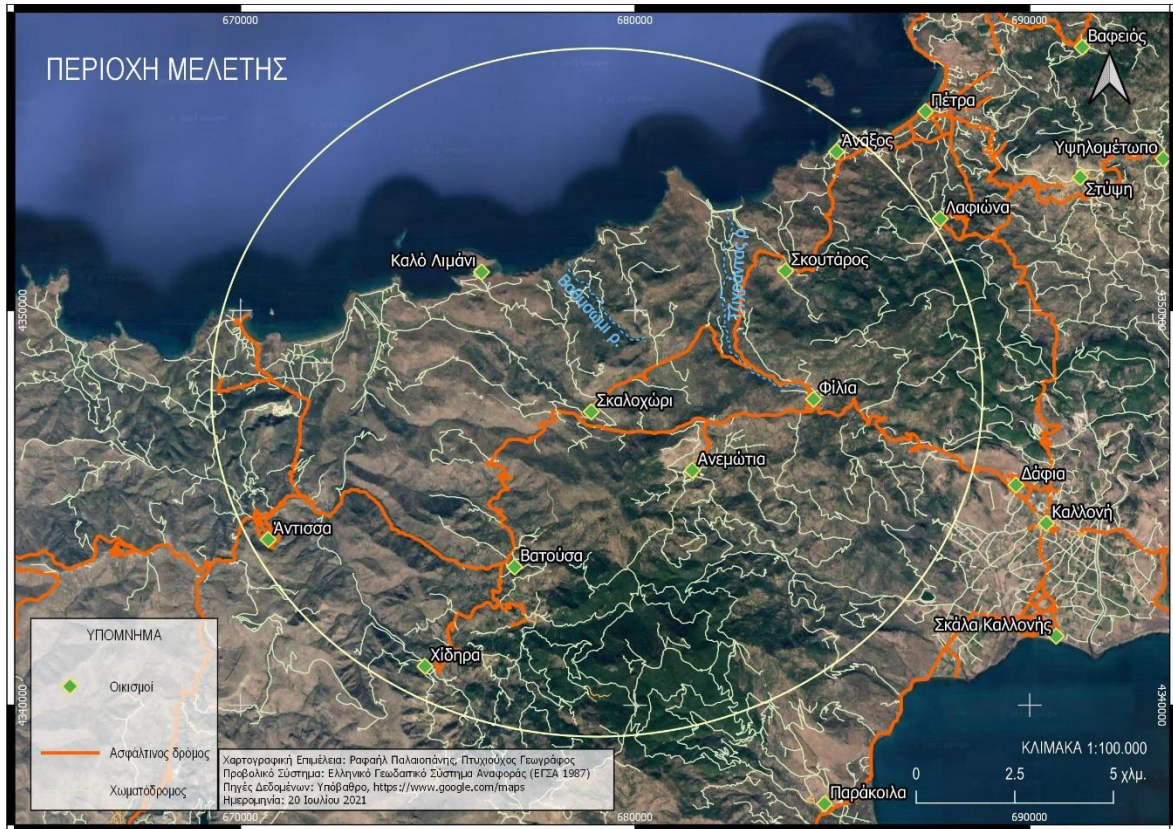
Ημερομηνία	Γεωγρ. Πλάτος °B	Γεωγρ. Μήκος °A	Βάθος	Μέγεθος	Τοποθεσία	Ένταση
1965/11/02	39.833	25.500	5km	4.9	Μήθυμνα	IV
1966/05/12	39.000	26.333	33km	4.7	Νεοχώρι	IV
1968/10/28	39.500	26.333	3km	5.0	Πολυχνίτος	IV+
1969/04/21	39.666	25.166	1km	5.0	Χωρίς στοιχεία	Χωρίς στοιχεία
1972/04/26	39.666	26.666	18km	5.1	Στύψη	VI+
1979/06/14	39.333	27.000	15km	5.9	Παναγιούδα	VI
1984/05/17	39.466	26.650	41km	5.8	Νότια Λέσβου	Χωρίς στοιχεία
1984/10/05	39.200	25.533	36km	5.7	Δυτικά Λέσβου	Χωρίς στοιχεία
1985/06/13	39.083	26.483	41km	4.9	Δυτικά Λέσβου	Χωρίς στοιχεία
1985/12/18	39.333	26.450	23km	5.3	Χωρίς στοιχεία	Χωρίς στοιχεία
1987/01/29	39.183	27.283	7.9km	4.5	ΝΑ Λέσβου	Χωρίς στοιχεία
1989/07/16	39.116	26.950	2.4km	4.5	Αμαλή	Χωρίς στοιχεία
1989/08/15	39.266	26.550	5km	5.2	Κόλπος Καλλονής	Χωρίς στοιχεία
1990/03/13	39.366	25.716	20km	4.6	Δυτικά Λέσβου	Χωρίς στοιχεία
1990/04/03	39.116	26.533	20km	4.6	Πλωμάρι	Χωρίς στοιχεία
1991/04/18	39.333	26.900	4.4km	4.5	Δυτικά Λέσβου	Χωρίς στοιχεία
1996/08/19	39.339	25.885	11km	4.7	Δυτικά Λέσβου	Χωρίς στοιχεία
2017/02/06-07	39.520	26.160	13km	5.1 - 5.2	Άσσος (Τουρκία)	Σμηνοσειρά
2017/06/12	38.860	26.370	13km	6.3	Νότια Λέσβου	IX
2021/02/01	38.970	26.020	15km	5.1	Νότια Λέσβου	Χωρίς στοιχεία

2.2 Περιοχή Μελέτης

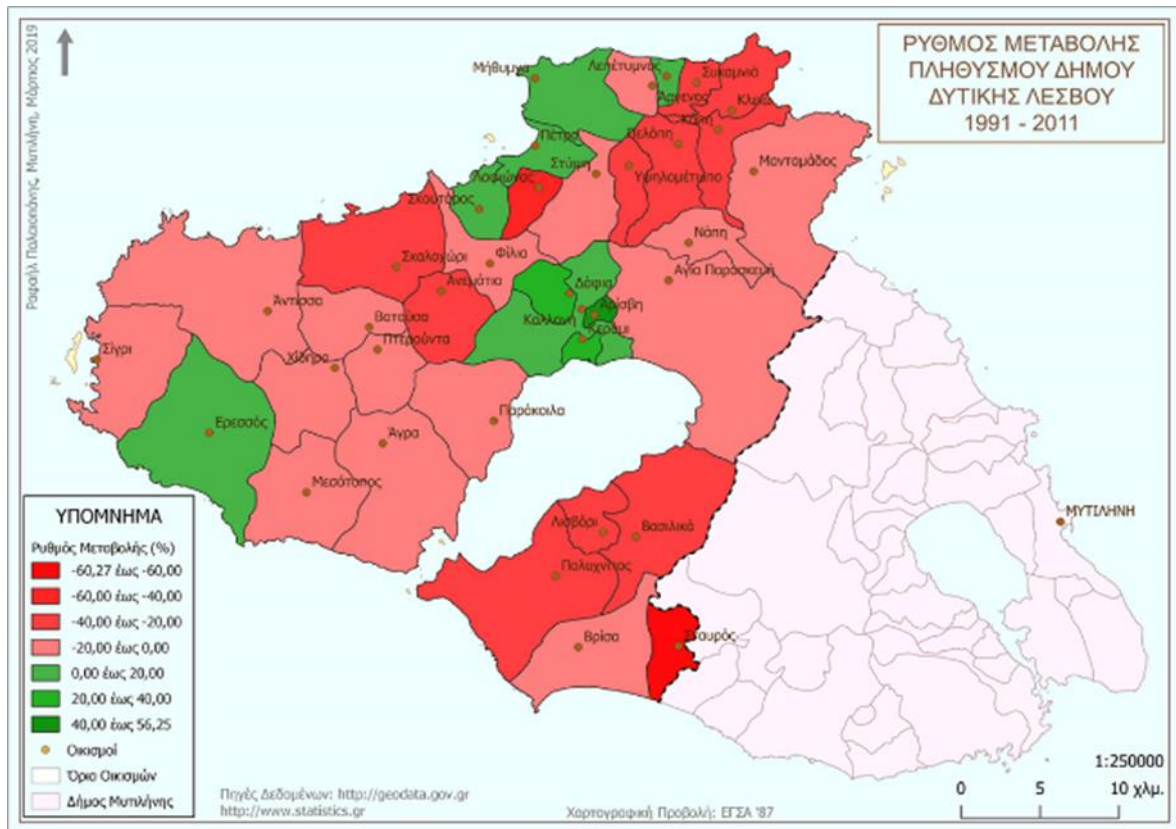
Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα, μεταξύ της Δυτικής Χερσονήσου και του κεντρικού τμήματος του νησιού (Εικόνα 24). Στην ευρύτερη περιοχή εντοπίζονται αρκετοί οικισμοί (Άντισσα, Χίδηρα, Βατούσα, Σκαλοχώρι, Ανεμώτια, Φίλια, Σκουτάρος) και επίνεια αυτών με πληθυσμό περίπου 4.500 κατοίκων (Χάρτης 9). Οι κάτοικοι ασχολούνται κυρίως με την αγροκτηνοτροφία ενώ αναπτύσσονται μικρές επιχειρήσεις εστίασης και φιλοξενίας. Ο ρυθμός μεταβολής του πληθυσμού εμφανίζει μεγάλη μείωση τις τελευταίες δεκαετίες κυρίως λόγω της εσωτερικής μετανάστευσης σε όμορους μεγαλύτερους οικισμούς (Χάρτης 8). Επιπλέον, το ποσοστό ηλικιωμένων (ηλικίας 65+) και ο δείκτης γήρανσης (ηλικιωμένοι ανά 100 παιδιά ηλικίας 0-14) εμφανίζονται αρκετά υψηλότερα σε σχέση τόσο με τους εθνικούς μέσους όρους όσο και με τους μ.ό. των υπόλοιπων νησιών του Βορείου Αιγαίου (Γαβαλάς, 2019). Το κτιριακό απόθεμα αποτελείται από παλιές κατασκευές με φέρουσα τοιχοποιία από λιθοδομή, σύγχρονες κατασκευές από σκυρόδεμα, μνημειακές κατασκευές καθώς και πρόχειρες κατασκευές. Η ανομοιογένεια του αποθέματος αφορά την ηλικία, το υλικό και την ποιότητα κατασκευής, το ιδιοκτησιακό καθεστώς και την κοινωνικοοικονομική διαστρωμάτωση των χρηστών. Επιπρόσθετα, παρατηρούνται πρόσθετες παρεμβάσεις στα κελύφη καθώς και ελλιπής συντήρηση εξαιτίας της οικονομικής κρίσης ενώ αρκετά κτίρια παραμένουν κενά για διάφορους λόγους.



Εικόνα 24 Τρισδιάστατη απεικόνιση περιοχής μελέτης, Πηγή: (Google Earth Pro, 2021)



Χάρτης 9 Περιοχή Μελέτης



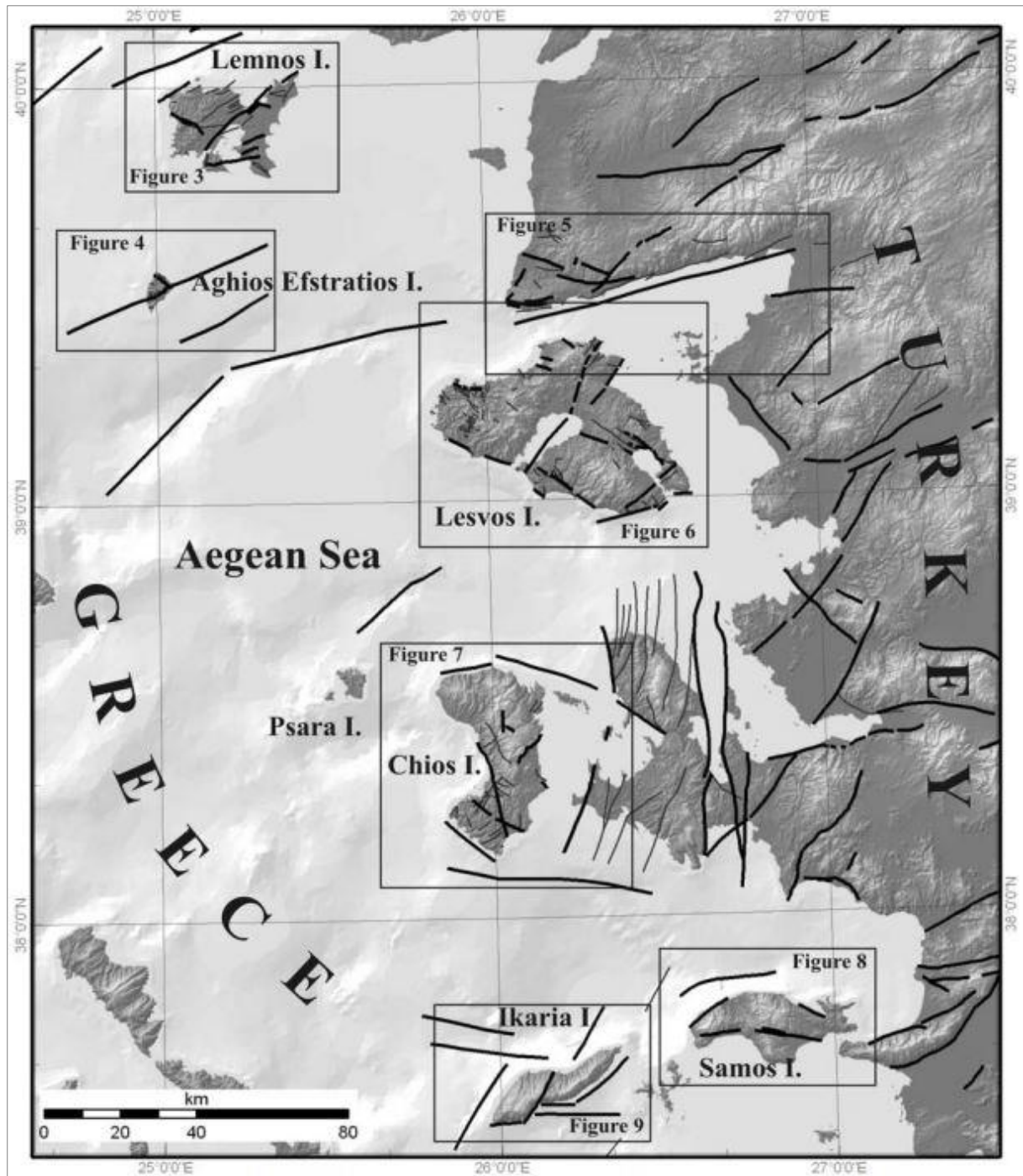
Χάρτης 8 Ρυθμός Μεταβολής Πληθυσμού

Οι παραπάνω παράγοντες αυξάνουν την τρωτότητα των οικισμών και σε συνδυασμό με την εμπειρία σεισμών σε τοπικό επίπεδο (I.T.S.A.K, 2017) και άλλων περιοχών της Ελλάδας (Μπεριάτος & Δελλαδέτσιμας, 2010), (Παυλίδης, 1998) καταδεικνύουν την ανάγκη για την αναλυτική έρευνα της ενεργού τεκτονικής της περιοχής και την καταγραφή και μελέτη των επιπτώσεων ενός σεισμικού γεγονότος. Επιπρόσθετα, αποτελεί αναγκαιότητα η εκπαίδευση/ενημέρωση του τοπικού πληθυσμού και ο καλύτερος και έγκαιρος σχεδιασμός για την αντιμετώπιση μιας πιθανής καταστροφής με απώτερο σκοπό την αύξηση της ανθεκτικότητας και τη μείωση βλαβών ή/και απωλειών σε μια περιοχή από μια πιθανή καταστροφή (Zouros, et al., 2011), (Δελλαδέτσιμας, 2009).

Σε σχετικές εργασίες που έχουν δημοσιευθεί (Chatzipetros, et al., 2013) (Χάρτης 6), (Pavlides, et al., 2009) (Χάρτης 10), (Zouros, et al., 2011) καθώς και στον γεωλογικό χάρτη της περιοχής της Ελληνικής Αρχής Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΕΑΓΜΕ) (πρώην ΙΓΜΕ) (Hecht, 1974) (Εικόνα 25) αποτυπώνονται κάποια πιθανά ενεργά ρήγματα εντός της περιοχής μελέτης, κυρίως με γεωλογικά κριτήρια.



Εικόνα 25 Απόσπασμα Γεωλογικού Χάρτη Ελλάδας, Φύλλο Μήθυμνα, Πηγή: (Hecht, 1974)

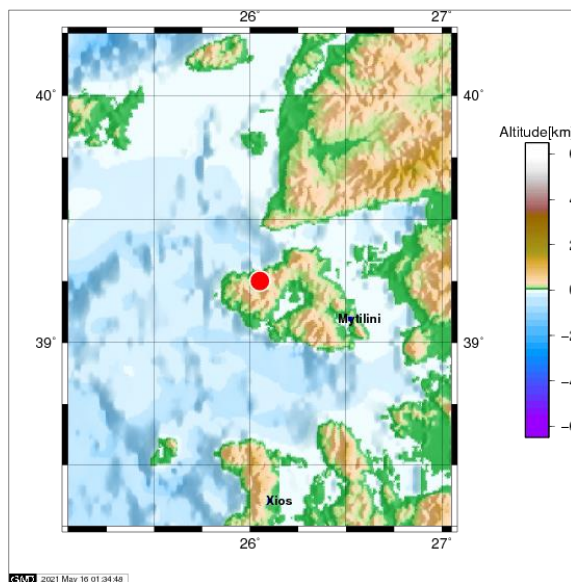


Χάρτης 10 Ενεργά και πιθανά ενεργά ρήγματα, Πηγή: (Pavlidis, et al., 2009)

Τέλος, όσον αφορά το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής συνίσταται κυρίως από λάβες και πυροκλαστικά υλικά από τη δράση των ηφαιστειακών κέντρων που λειτούργησαν κατά την περίοδο του Μειόκαινου. Απαντώνται δακτινικές, λατιτικές, λατιτανδεστικές και χαλαζιακές λάβες, αδρόκοκκοι φανεροδακίτες, πυροκλαστικοί σχηματισμοί και κατώτερα μέρη της ανώτερης μονάδας λάβας. Ακόμα, περιοχές χαμηλού υψομέτρου καλύπτονται από αργίλους και κροκάλες ποτάμιων αποθέσεων και παράκτιες άμμους (Χάρτης 3).

2.3 Σεισμός Σκαλοχωρίου, 15^{ης} Απριλίου 2021

Σύμφωνα με το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο (ΓΙ), στη νήσο Λέσβο, την 15^η Απριλίου 2021, στις 04:10:19 UTC (07:10:19 π.μ., τοπική ώρα), σημειώθηκε σεισμική δόνηση, τοπικού μεγέθους 3.9 M_L, 14 χλμ NND του οικισμού της Μήθυμνας (39.2587B, 26.0825A), εστιακού βάθους 5 χλμ (Εικόνα 26). Το επίκεντρο εντοπίζεται πλησίον του οικισμού του Σκαλοχωρίου. Ο σεισμός έγινε αισθητός σε τμήμα του νησιού και στα μικρασιατικά παράλια (Χάρτης 11). Υπήρξαν αναφορές για έντονη βοή στις περιοχές Φίλιας – Σκαλοχωρίου και Στύψης – Αγίας Παρασκευής κατά τη διάρκεια της δόνησης. Διαθέσιμος μηχανισμός γένεσης – λόγω του μικρού μεγέθους – δεν υπήρχε διαθέσιμος από το ΓΙ.



Εικόνα 26 Πληροφορίες σεισμού, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021)



Χάρτης 11 Χάρτης Αισθητότητας, Πηγή: (EMSC, 2021)

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία

3.1 Καθορισμός Ερευνητικής Υπόθεσης

Αμέσως μετά την εκδήλωση του σεισμικού γεγονότος (07:10:19 τοπική ώρα) και την ανάρτηση του επικέντρου στην ιστοσελίδα του Ευρωπαϊκού Μεσογειακού Σεισμολογικού Κέντρου ετέθη η ερευνητική υπόθεση εάν είναι δυνατή η εμφάνιση μακροσεισμικών αποτελεσμάτων στην περιοχή. Σύμφωνα με έρευνα των Pavlides & Caputo (2004) επιβεβαιώνεται η σχέση μεταξύ τριών σεισμολογικών και γεωλογικών παραμέτρων, του μεγέθους του σεισμού, του μήκους της επιφάνειας διάρρηξης και της μέγιστης κατακόρυφης μετατόπισης κανονικών ρηγμάτων. Στην περιοχή του Αιγαίου, ο συνδυασμός αυτών των παραμέτρων και η μελέτη ιστορικών σεισμών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σεισμοί μικρότεροι των περίπου 5,5 βαθμών παράγουν περιορισμένα μορφογενετικά αποτελέσματα και όχι απαραίτητα συν-σεισμικά. Οι μετατοπίσεις περιορίζονται σε μερικά εκατοστά με αποτέλεσμα τη γρήγορη αλλοίωσή τους, το μήκος της ρηξιγενούς επιφάνειας είναι περίπου 1 – 1,5 km ενώ είναι αυξημένη η πιθανότητα να εμφανίζονται σε αστικό χώρο ή πυκνοφυτεμένες περιοχές, παράγοντες που καθιστούν δύσκολη την αναγνώρισή των μορφογενετικών αποτελεσμάτων στο πεδίο. Εντούτοις, επειδή το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής συνίσταται από σχετικά χαλαρά ηφαιστειακά πετρώματα και τεταρτογενείς αποθέσεις, το βάθος του σεισμού ήταν επιφανειακό και το επίκεντρο στην ξηρά, κρίθηκε σκόπιμη η περαιτέρω διερεύνηση της περιοχής.

3.2 Ερευνητικά Στάδια

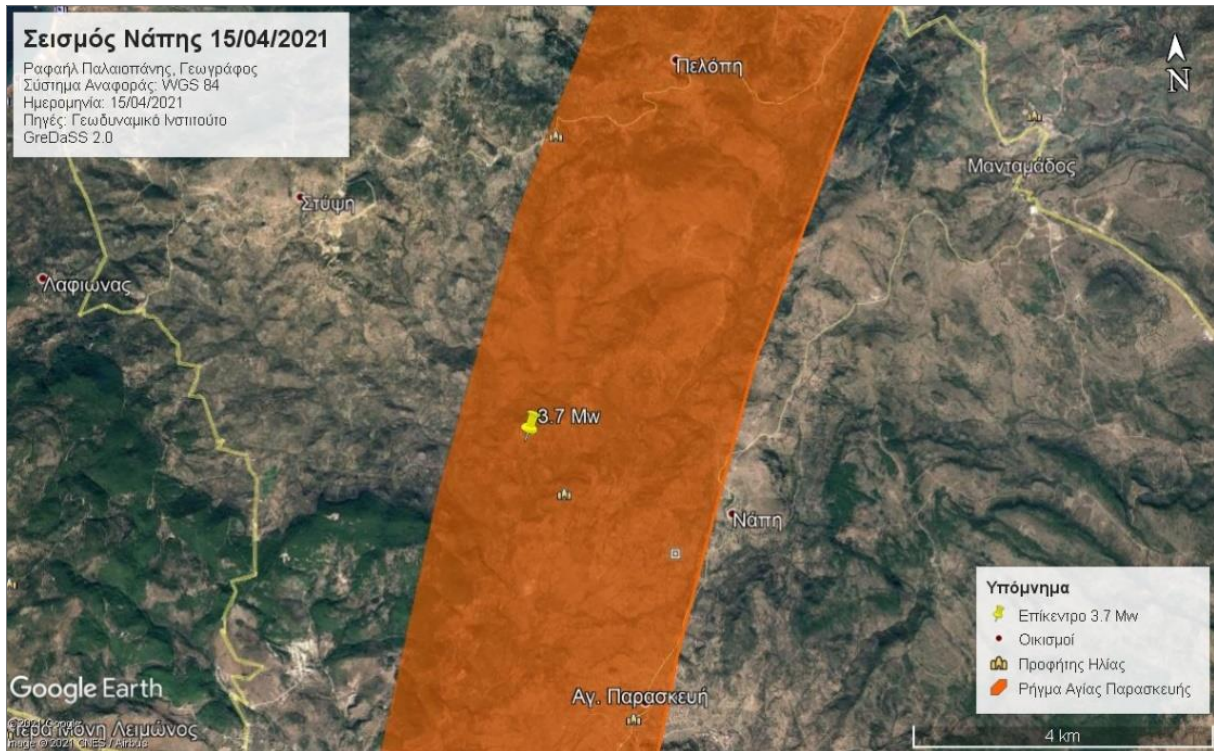
3.2.1 Επισκόπηση Περιοχής

Αρχικά, ελήφθησαν οι γεωγραφικές συντεταγμένες των επικέντρων της σεισμικής ακολουθίας (κυρίως σεισμού και μετασεισμών) όπως αυτές αναρτήθηκαν στην ιστοσελίδα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου (χειρακτικές λύσεις) (Πίνακας 13) (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021).

Πίνακας 13 Σεισμική ακολουθία 15ης Ιουνίου 2021, Πηγή: (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021)

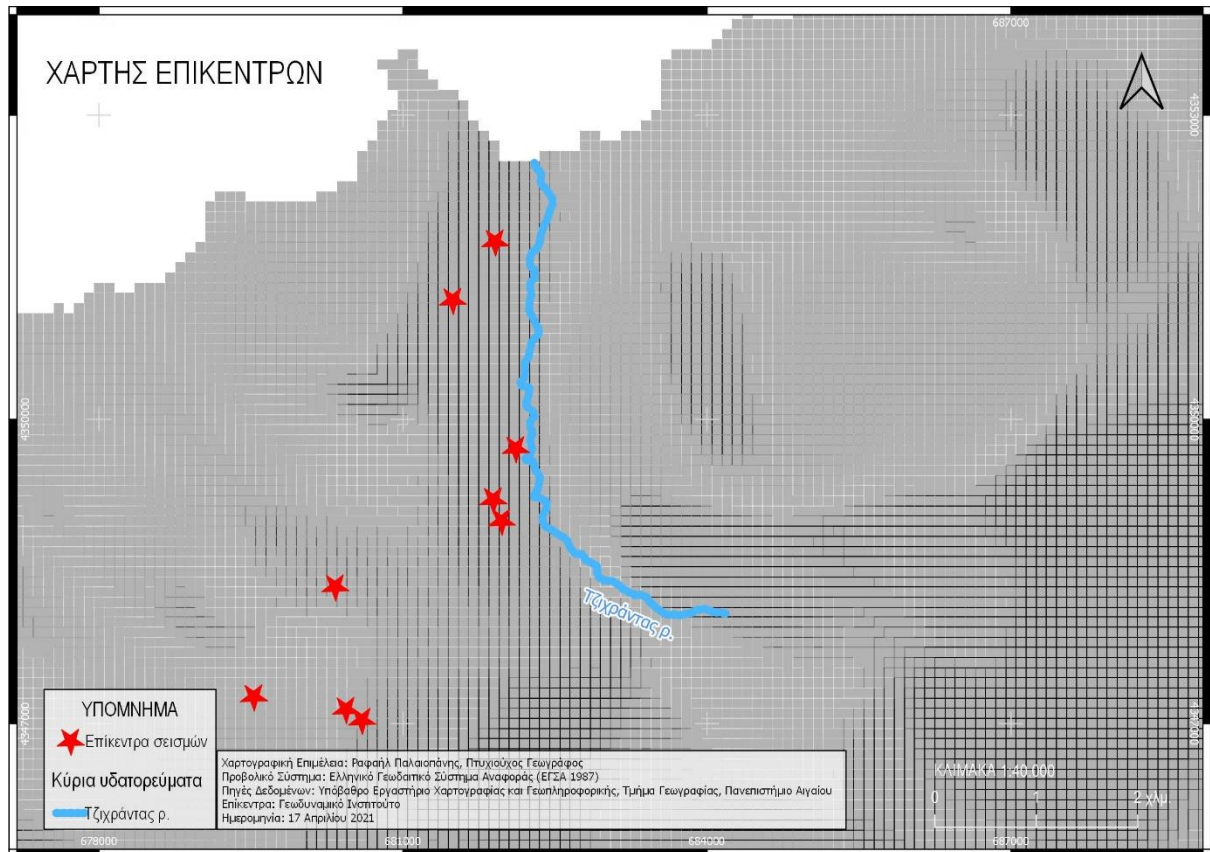
	Χρόνος Γένεσης	Τοποθεσία	Γεωγρ. Πλάτος (°B)	Γεωγρ. Μήκος (°A)	Βάθος (χλμ.)	Μέγεθος
1	15/04/2021 04:10:19	17.7 χλμ ΒΔ Μυτιλήνης	39.2587	26.0825	15	3.9
2	15/04/2021 05:55:39	16.9 χλμ ΒΔ Μυτιλήνης	39.2574	26.0930	11	3.1
3	15/04/2021 10:14:25	16.7 χλμ ΒΔ Μυτιλήνης	39.2564	26.0948	11	2.7
4	15/04/2021 17:17:04	17.7 χλμ ΒΔ Μυτιλήνης	39.2683	26.0921	15	3.0
5	15/04/2021 17:27:52	17.3 χλμ ΒΔ Μυτιλήνης	39.2802	26.1131	14	2.6
6	15/04/2021 17:45:05	18.8 χλμ ΒΔ Μυτιλήνης	39.2935	26.1063	13	2.7
7	16/04/2021 14:16:21	17.1 χλμ ΒΔ Μυτιλήνης	39.2757	26.1104	15	2.8
8	16/04/2021 16:49:57	16.9 χλμ ΒΔ Μυτιλήνης	39.2738	26.1113	15	2.5
9	16/04/2021 22:44:46	18.9 χλμ ΒΔ Μυτιλήνης	39.2986	26.1113	15	2.3

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αυτόματες λύσεις δεν μπορούν να αποτελέσουν αξιόπιστη πηγή καθότι εμφανίζουν μεγάλη απόκλιση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η αυτόματη λύση όριζε το επίκεντρο περίπου 15 χλμ. ανατολικότερα στην περιοχή του ρήγματος της Αγίας Παρασκευής (Χάρτης 12).



Χάρτης 12 Αυτόματη λύση Γεωδυναμικού Ινστιτούτου

Τα επίκεντρα τοποθετήθηκαν επί Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, ακρίβειας 100μ.Χ100μ. (Εργαστήριο Χαρτογραφίας και Γεωπληροφορικής, 2018) και κατά την επισκόπηση του ΨΜΕ διαπιστώθηκε ότι στην ευρύτερη περιοχή των επικέντρων υπάρχει σημαντική αλλαγή του υδρογραφικού δικτύου (Χάρτης 13).

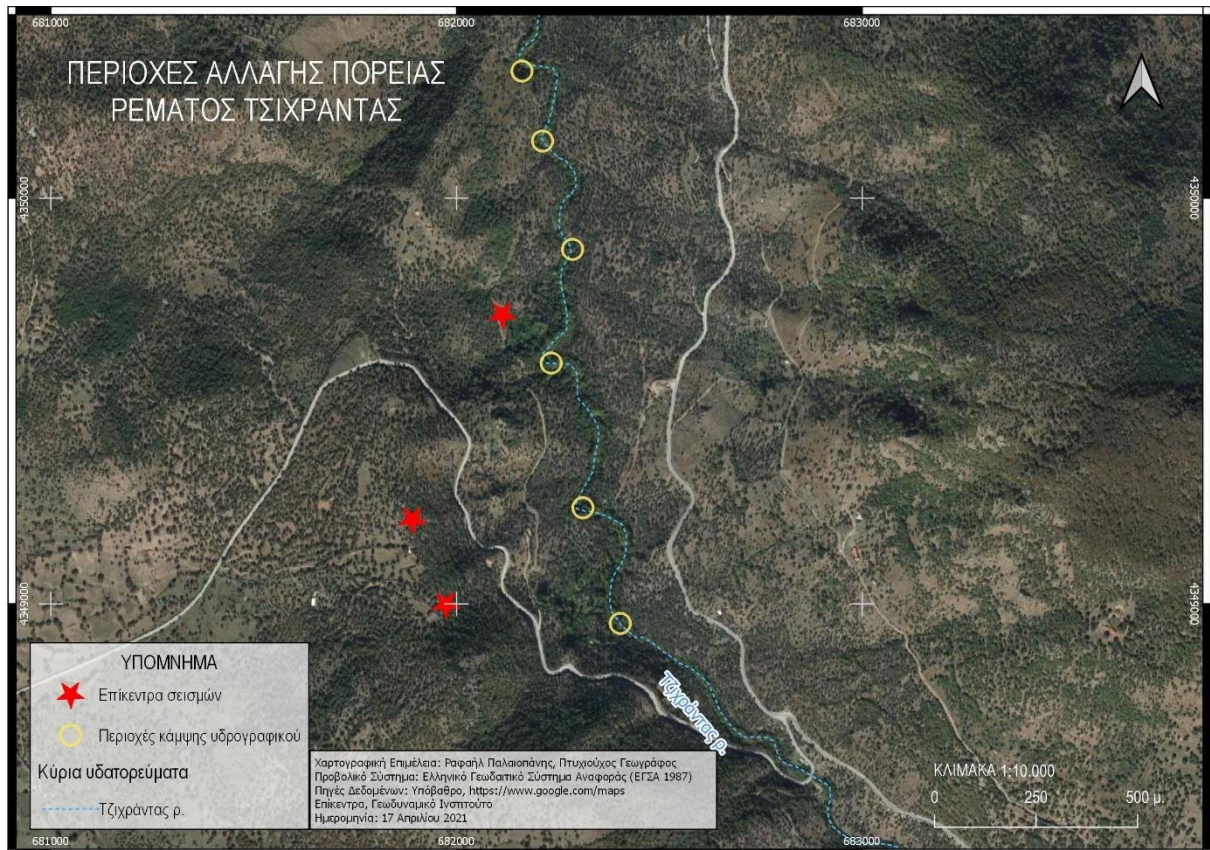


Χάρτης 13 Επίκεντρα σεισμών

Συγκεκριμένα το κύριο υδατόρεμα, (Ρέμα Τζιχράντας) ενώ αναπτύσσεται από τον οικισμό της Φίλιας με κατεύθυνση Α-Δ στη συνέχεια εκτρέπεται σε γωνία περίπου 60° και εκβάλλει με κατεύθυνση Ν-Β. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι απότομες αλλαγές του υδρογραφικού δικτύου αποτελούν μορφοτεκτονικούς δείκτες που συνηγορούν – υπό προϋποθέσεις – στην παρουσία ρηγμάτων (Παυλίδης, 2016), (Παυλόπουλος, 2011). Επίσης, παρατηρήθηκε ότι η κατανομή των επικέντρων παρουσίαζε μεν κάποια συγκέντρωση αλλά ο μικρός αριθμός σεισμολογικών δεδομένων καθώς και οι περιορισμοί ακρίβειας αυτών δεν μπορούσαν να παρέχουν επαρκή και αξιόπιστη πληροφορία για τη διεύθυνση πιθανού ρήγματος ή εμφάνισης μορφογενετικών αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια, με τη χρήση δορυφορικών εικόνων του Google Earth Pro (2021) παρατηρήθηκαν έντονες επιμέρους αλλαγές της διεύθυνσης του υδατορέματος (γωνίες περίπου 90°) που εμφανίζονται χαρακτηριστικά από την κατανομή της παραποτάμιας βλάστησης. (Χάρτης 14).

Το παραπάνω γεγονός οδήγησε στην κατασκευή του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους ακρίβειας 10μ.Χ10μ. για την καλύτερη απεικόνιση του μορφοανάγλυφου. Τέλος, αναζητήθηκε στη σχετική βιβλιογραφία η ύπαρξη πιθανού ενεργού ρήγματος στην ευρύτερη περιοχή, όπως έχει αναφερθεί σχετικά στο *Υποκεφάλαιο Περιοχή Μελέτης, σελ. 56*. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η έρευνα επικεντρώθηκε στο ύπαιθρο αφού δεν είχαν αναφερθεί βλάβες στα κτίρια των οικισμών.

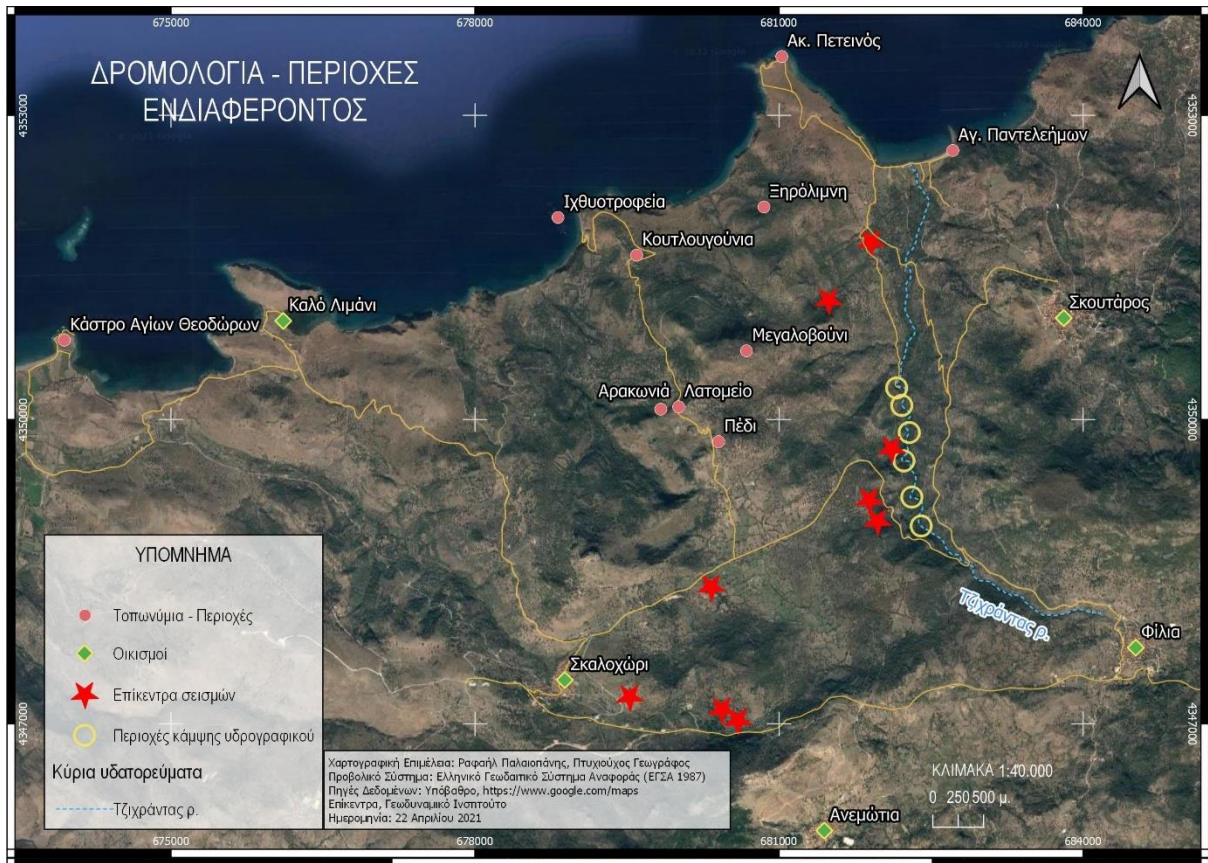


Χάρτης 14 Περιοχές αλλαγής πορείας ρέματος Τζιχράντας

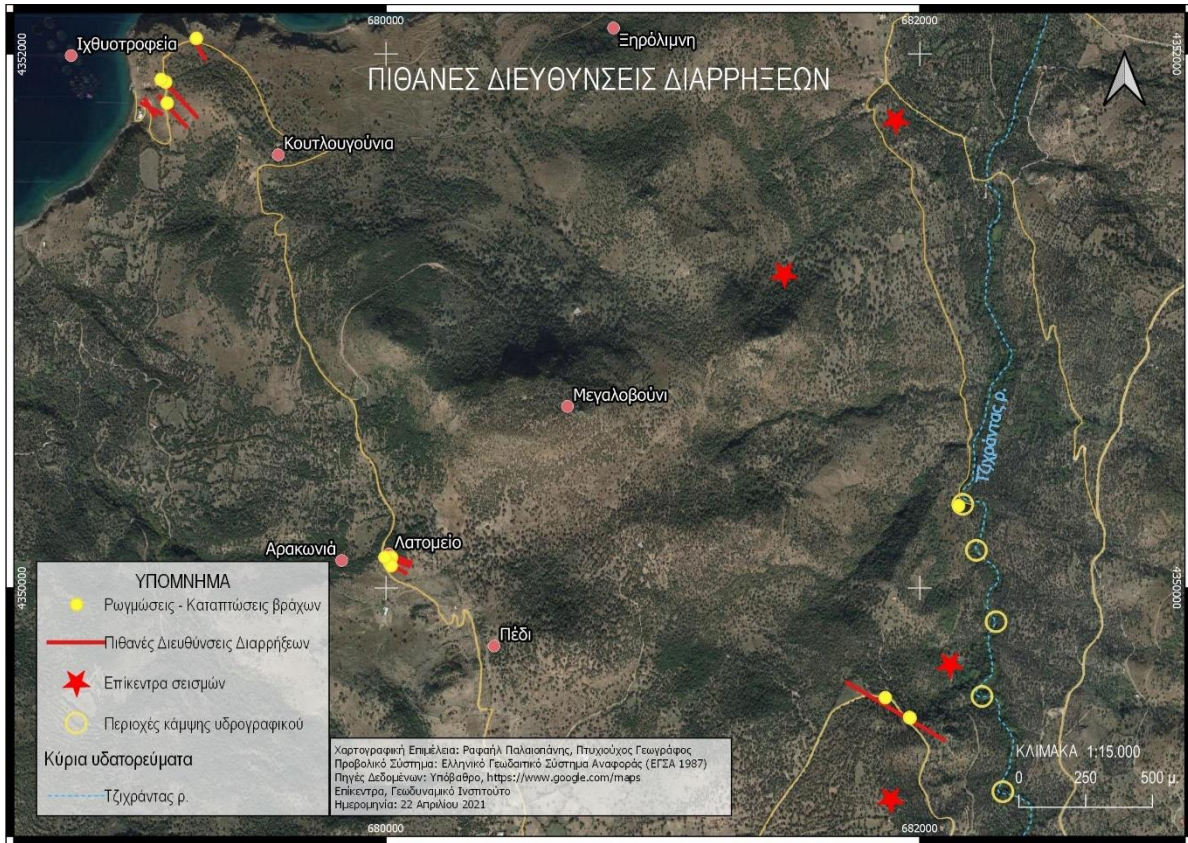
3.2.2 Αρχική Έρευνα Πεδίου

Η πρώτη επίσκεψη στο πεδίο πραγματοποιήθηκε την 20η Απριλίου 2021. Κύριο σκοπό της προκαταρκτικής έρευνας αποτελούσε η επόπτευση της ευρύτερης περιοχής που ορίζεται από τους οικισμούς Σκουτάρου, Φίλιας, Σκαλοχωρίου, Ανεμώτιας και την περιοχή της Αρχαίας Άντισσας. Πραγματοποιήθηκε επισήμανση οικισμών και σημείων ενδιαφέροντος, αναγνώριση και καταγραφή δρομολογίων (ποιότητα οδοστρώματος, εμπόδια, ιδιοκτησίες, βαθμός δυσκολίας πρόσβασης, κλπ.), αναγνώριση κύριων δομών του μορφοανάγλυφου και – κατά το δυνατόν – κατανόηση του τρόπου δημιουργίας και εξέλιξης του ευρύτερου γεωτεκτονικού περιβάλλοντος. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν συζητήσεις με μόνιμους κατοίκους,

κτηνοτρόφους και αλιείς της περιοχής για το πως βίωσαν τις σεισμικές δονήσεις. Εξαιτίας της εκτεταμένης έρευνας (κάλυψη περιοχής 30 τετ. χλμ. επί δρομολογίων ή/και πεζή), των δυσκολιών πρόσβασης σε συγκεκριμένες περιοχές, των χρονικών περιορισμών, της έλλειψης σχετικού εξοπλισμού και πρότερης εμπειρίας στην αναγνώριση μακροσεισμικών αποτελεσμάτων – κυρίως του αναμενόμενου μεγέθους αυτών – η έρευνα δεν επικεντρώθηκε στην αναλυτική καταγραφή των σχετικών τεκμηρίων παρά μόνο σε λήψη φωτογραφιών (Εικόνες 27 - 31). Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν, αποτυπώθηκαν χαρτογραφικά και κατασκευάστηκε χάρτης διαδρομών και περιοχών ενδιαφέροντος (Χάρτης 15) και προκαταρκτικός χάρτης μακροσεισμικών αποτελεσμάτων και πιθανών διευθύνσεων των διαρρήξεων (Χάρτης 16). Οι συγκεκριμένοι χάρτες, σε συνδυασμό με τα Τοπογραφικά Διαγράμματα, το ΨΜΕ υψηλής ακρίβειας και τις δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιήθηκαν για την οργάνωση του επόμενου σταδίου έρευνας επί του πεδίου.



Χάρτης 15 Διαδρομές - Περιοχές ενδιαφέροντος



Χάρτης 16 Πιθανές Διευθύνσεις Διαρρήξεων

Φωτογραφίες 20^{ης} Απριλίου 2021



Εικόνα 27 Νότια πλευρά Ακροτηρίου Πετεινού



Εικόνα 28 Νότια πλευρά παραλίας Τζιχράντας



Εικόνα 29 Λεπτομέρεια πυροκλαστικών βόρειας πλευράς παραλίας Κόκκινα (Καλό λιμάνι)



Εικόνα 30 Λεπτομέρεια βόρειου πρανούς, Κάστρου Αγίων Θεοδώρων

Οι διαρρήξεις και κατολισθήσεις που αποτυπώνονται στις φωτογραφίες δεν έχει τεκμηριωθεί ότι σχετίζονται άμεσα με το σεισμικό συμβάν αλλά δείχνουν μια πρώτη εικόνα στην περιοχή μελέτης που σαφώς αποδεικνύει ότι οι αλλαγές στα ηφαιστειακά πετρώματα της Δυτικής Λέσβου είναι διαρκής και δίνουν την αίσθηση στον ερευνητή ότι κάτι έχει αλλάξει πρόσφατα στον χώρο.



Εικόνα 31 Παραλία περιοχής Ξηρόλιμνης (νοτίως Ακρωτηρίου Πετεινού)

3.2.2 Κυρίως Έρευνα Πεδίου

Η επόμενη επίσκεψη στο πεδίο, καταβλήθηκε προσπάθεια να γίνει όσο το δυνατόν συντομότερα για την αποφυγή τυχόν αλλοίωσης ή/και απώλειας τεκμηρίων από τη δράση των εξωγενών δυνάμεων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην περιοχή της Δυτικής Λέσβου απουσιάζουν γενικότερα τεκμήρια τεκτονικών δομών (ρήγματα, κλπ.) σε σχέση με το ανατολικό τμήμα του νησιού, γεγονός που οφείλεται στην ταχεία αποσάθρωση και διάβρωση των σχετικά χαλαρών ηφαιστειακών πετρωμάτων. Αυτό φυσικά δεν συνιστά απόδειξη μικρής σεισμικότητας καθόσον η διάνοιξη του νέου οδικού άξονα Καλλονής – Σιγρίου, με την κατασκευή μεγάλων τεχνητών πρανών, αποκάλυψε πλήθος ενεργών τεκτονικών δομών (Λαμπρακόπουλος, 2020).

Η έρευνα στις 08 Μαΐου 2021 πραγματοποιήθηκε με την επίβλεψη και καθοδήγηση του Καθηγητή κ. Νικόλαου Ζούρου. Αρχικά ερευνήθηκε η περιοχή των κάμψεων του ρέματος της Τζιχράντας ως η πιο πιθανή για την εμφάνιση μακροσεισμικών αποτελεσμάτων. Στη δυτική όχθη του ρέματος Τζιχράντας εντοπίστηκαν τεχνητά πρανή (από τη διάνοιξη παλαιού χωματόδρομου), δακτικίων λαβών, στα οποία εμφανιζόταν καταπτώσεις βράχων και στις κορυφές αυτών έντονα κατακερματισμένα πετρώματα (Εικόνα 32, 33).



Εικόνα 32 Καταπτώσεις βράχων σε πρανές δακτικίας λάβας



Εικόνα 33 Διαρρήξεις στην κορυφή του πρανούς

Οι καταπτώσεις ήταν εμφανώς διαφορετικών χρονικών περιόδων με σαφή διαστρωμάτωση και οι διαρρήξεις εμφάνιζαν σαφείς ενδείξεις σχετικά πρόσφατου κατακερματισμού (διαφορετικό χρώμα, μέγεθος ρωγμών, κλπ.). Η έρευνα δεν συνεχίστηκε σε όλα τα σημεία κάμψης του ρέματος καθώς η πρόσβαση ήταν απαγορευτική λόγω της πυκνής παραποτάμιας βλάστησης. Το πλήθος και το μέγεθος των ευρημάτων δεν οδήγησαν σε κάποια σαφή συμπεράσματα αλλά η συστηματική και διακριτή εμφάνισή τους τεκμηρίωσε την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση. Η έρευνα συνεχίστηκε και σε άλλες υπο-περιοχές και οδήγησε στον εντοπισμό και άλλων σχετικών ενδείξεων αντίστοιχου μεγέθους, πιθανών παλαιών ρηγμάτων και πιθανών παλαιότερων διαρρήξεων που ενδεχομένως να έχουν προκληθεί από παλαιότερο σεισμικό γεγονός που δεν έχει όμως καταγραφεί (Εικόνα 34 - 39). Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η γραμμική - κατά μήκος - ανάπτυξη διαρρήξεων με συγκεκριμένη διεύθυνση για αρκετά μέτρα στην περιοχή Λατομείο (Εικόνα 40Α - 45ΣΤ) η οποία εμφανίζεται και στα ανατολικότερα πρανή.



Εικόνα 34 Αποκόλληση τεμάχους



Εικόνα 35 Διάρρηξη επί πρανούς



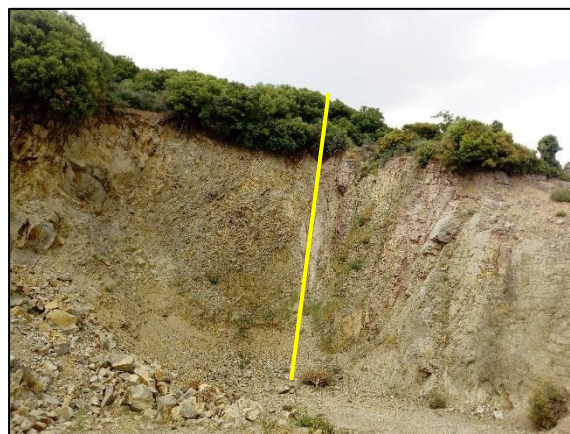
Εικόνα 36 Αποκόλληση τεμαχίων, καταπλάκωση φυτών



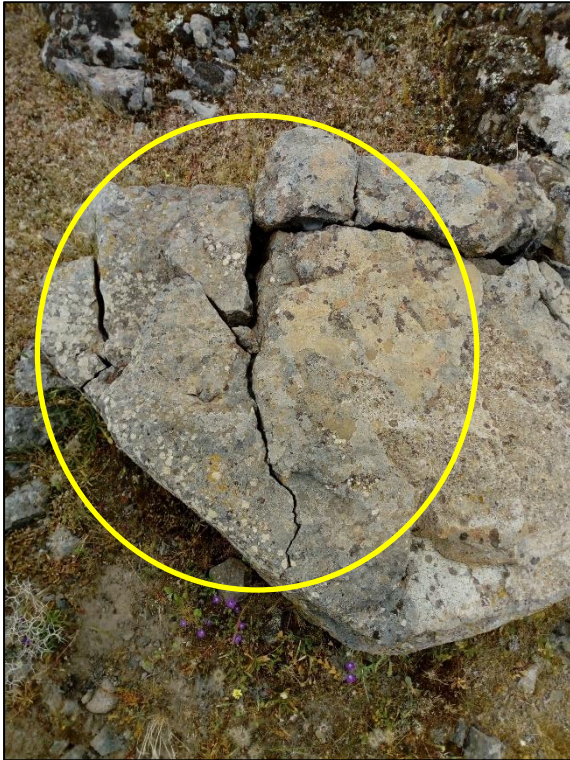
Εικόνα 37 Παλαιότερη διάρρηξη



Εικόνα 38 Γραμμική εμφάνιση διάρρηξης και καταπτώσεων (Λατομείο)



Εικόνα 39 Πιθανό παλαιότερο ρήγμα (Λατομείο)



Εικόνα 40 Γραμμική εμφάνιση διαρρήξεων επί του εδάφους (Α)



Εικόνα 41 Γραμμική εμφάνιση διαρρήξεων επί του εδάφους (Β)



Εικόνα 42 Γραμμική εμφάνιση διάρρηξης επί βράχου.
Πιθανή ύπαρξη παλαιότερης (Γ)



Εικόνα 43 Γραμμική εμφάνιση διαρρήξεων επί βράχου (Δ)



Εικόνα 45 Διατάραξη ξερολιθιάς (Ε)



Εικόνα 44 Πιθανή παλαιά διάρρηξη (ΣΤ)

Η έρευνα ολοκληρώθηκε προς την περιοχή Ιχθυοτροφεία όπου και εκεί εντοπίστηκε πλήθος σχετικών ενδείξεων όπως επιφανειακές διαρρήξεις, καταπτώσεις βράχων σε τεχνητά πρανή και ενδείξεις παλαιών ρηγμάτων, αντίστοιχου μεγέθους με τις προηγούμενες (Εικόνα 46 - 49).



Εικόνα 46 Διάρρηξη



Εικόνα 47 Διάρρηξη



Εικόνα 48 Διαρρήξεις - Καταπτώσεις



Εικόνα 49 Παλιό ρήγμα

Μετά τα πρώτα ευρήματα και αφού έγινε κατανοητό το μέγεθος και το είδος των πιθανών ενδείξεων, πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη έρευνα με επισκέψεις κατά το χρονικό διάστημα από 15 Μαΐου έως 30 Ιουλίου, που κάλυψε μεγάλο τμήμα της περιοχής. Από κάθε θέση που εντοπιζόταν πιθανή ένδειξη, λαμβάνονταν φωτογραφία και οι συντεταγμένες της θέσης (WGS 84) με τη χρήση σχετικών εφαρμογών κινητού τηλεφώνου. Στη συνέχεια με τη χρήση Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ArcGIS Pro) οι φωτογραφίες μετατρέπονταν σε αρχείο διανυσματικής μορφής (points) και αποτυπώνονταν χαρτογραφικά. Μετά από κάθε επίσκεψη στο πεδίο κατασκευάζονταν αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες για την αποτύπωση των ευρημάτων και την εξαγωγή επιμέρους συμπερασμάτων. Με αυτόν το τρόπο εκτιμήθηκε μια πρώτη γενική διεύθυνση των διαρρήξεων που επέτρεψε τον καλύτερο και πιο στοχευμένο έλεγχο της περιοχής.

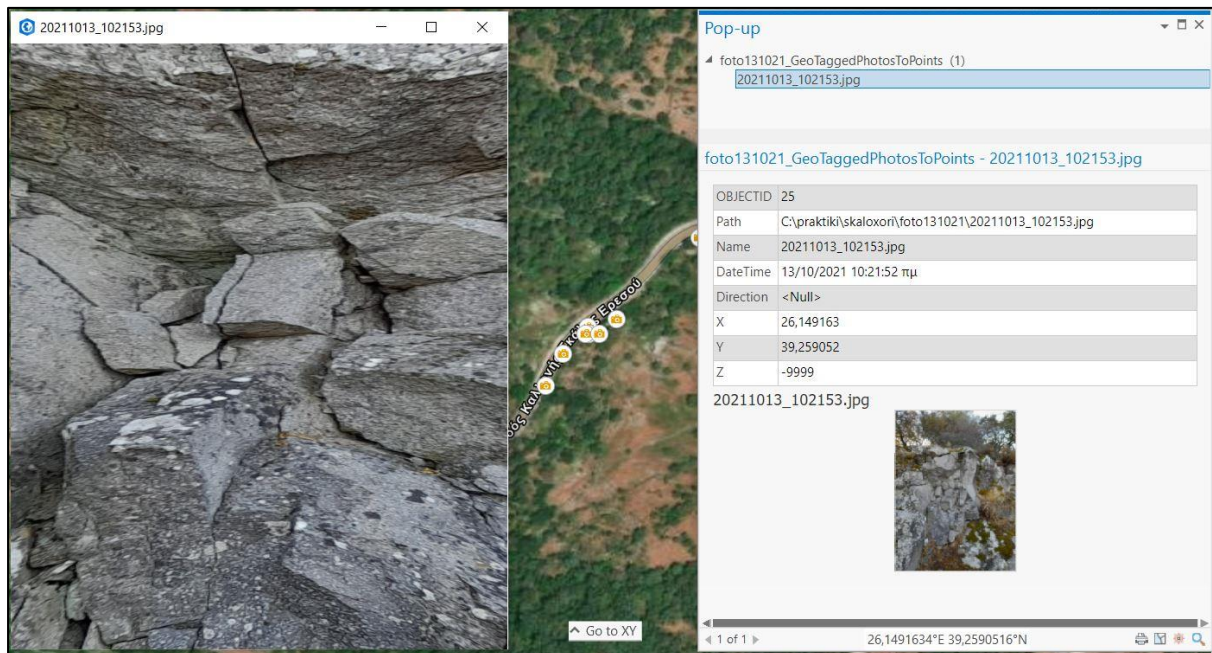
Η τελευταία επιτόπια έρευνα πραγματοποιήθηκε την 13 Οκτωβρίου 2021 με τον υποψήφιο Διδάκτορα κ. Λαμπρακόπουλο Άγγελο, με σκοπό τη διερεύνηση της περιοχής για τον τυχόν εντοπισμό πιθανού ρήγματος ενώ συνεχίστηκε και η αναζήτηση πληροφοριών από άλλα σεισμολογικά δίκτυα για τη διασταύρωση και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων.

Κεφάλαιο 4: Στοιχεία Εργασίας Υπαιθρου

4.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο καταγράφονται τα τεκμήρια που συγκεντρώθηκαν από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο ύπαιθρο (Χάρτης 17) και δεδομένα της σεισμικής ακολουθίας.

Αρχικά παρουσιάζονται σε χάρτες (Χάρτες 19-28) οι θέσεις που εντοπίστηκαν μακροσεισμικά αποτελέσματα και ενδεικτικές φωτογραφίες ανά περιοχή. Για την ευχερή μελέτη των τεκμηρίων κατασκευάστηκε γεωβάση στο λογισμικό ArcGIS όπου επιλέγοντας συγκεκριμένη θέση φαίνεται η γεωγραφική πληροφορία και η αντίστοιχη φωτογραφία ενώ παράλληλα υπάρχει η δυνατότητα θέασης 360° (Εικόνα 50). Οι συντεταγμένες λαμβάνονταν αυτόματα κατά τη φωτογράφιση με κινητό. Η απόκλιση σε κάποιες περιπτώσεις αγγίζει τα 30μ. ανάλογα με την ποιότητα του σήματος των δορυφόρων. Θέσεις που δεν περιλαμβάνουν τεκμήρια παραμένουν στο αρχείο ως ενδεικτικές για την αντίστοιχη περιοχή που ερευνήθηκε ενώ υπάρχουν και θέσεις σε χαρακτηριστικά σημεία για τον έλεγχο της απόκλισης.

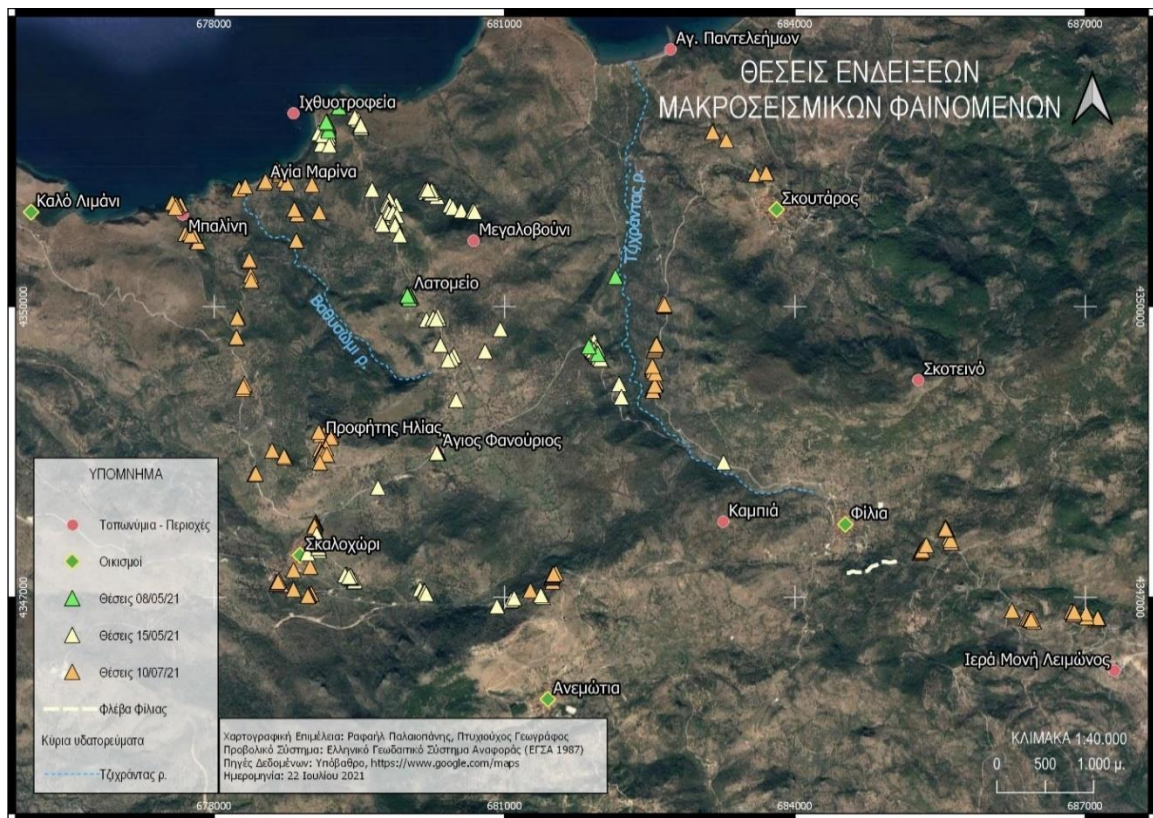


Εικόνα 50 Επεξεργασία θέσεων στο ArcGIS

4.2 Μακροσεισμικά Αποτελέσματα

4.2.1 Γενικές Παρατηρήσεις

Τα τεκμήρια που εντοπίστηκαν αφορούν κυρίως επιφανειακές διαρρήξεις και αποκολλήσεις/καταπτώσεις βράχων. Κύριο χαρακτηριστικό αποτελεί το μικρό μέγεθος (διαρρήξεις της τάξης χιλιοστών έως μερικών εκατοστών) και ο μικρός όγκος (μερικών κυβικών μέτρων). Η εμφάνισή τους εντοπίζεται κυρίως σε τεχνητά πρηνή από την κατασκευή του οδικού δικτύου της περιοχής αλλά και σε μικρά τεχνητά έργα (ξερολιθιές, κράσπεδα, λιθοσωρούς, κλπ.). Με τα μέχρι τώρα στοιχεία, παρά το μικρό μέγεθος των εμφανίσεων η συστηματική εμφάνισή τους σε μια συγκεκριμένη ζώνη πλάτους περίπου 7km, ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης, η απουσία τους εκτός αυτής της ζώνης και η μείωση εμφάνισής τους με την αύξηση του υψομέτρου ενδεχομένως πιστοποιούν ότι μπορεί να συνδέονται με το συγκεκριμένο σεισμικό συμβάν.



Χάρτης 17 Θέσεις ενδείξεων μακροσεισμικών φαινομένων

Αναλυτικότερα:

Ρέμα Τζιγράντας

Η περιοχή ορίζεται από τη λεκάνη απορροής και δομείται, από ανάντη προς κατόντη, με πετρώματα της ανώτερης μονάδας λαβών, πυροκλαστικές ενστρώσεις, κατά τμήματα

ρυολιθικής υαλώδους λάβας, ποτάμιες αποθέσεις και παράκτιες άμμους. Επίσης κατά τόπους υπάρχουν εμφανίσεις περλίτη εντός της υαλώδους λάβας (Χάρτης 18). Στην περιοχή εντοπίζονται διαρρήξεις και αποκολλήσεις/καταπτώσεις βράχων εκατέρωθεν του ρέματος και σε πρηνή της επαρχιακής οδού Φίλιας – Σκουτάρου, χωρίς όμως να είναι δυνατή η μελέτη όλου του ρέματος και ειδικά στην περιοχή των κάμψεων του υδρογραφικού λόγω της ύπαρξης πλούσιας παραποτάμιας βλάστησης (Χάρτης 19, Εικόνα 51 – 56).

Ιερά Μονή Λειμώνος

Η περιοχή της Ιεράς Μονής Λειμώνος αποτελεί το ακρότατο όριο εμφάνισης τεκμηρίων προς ΝΑ περίπου 10 km από την κύρια περιοχή εμφάνισης. Δομείται από πετρώματα της ανώτερης μονάδας λαβών και πυροκλαστικές ενστρώσεις (Χάρτης 18). Οι εμφανίσεις διαρρήξεων και καταπτώσεων βράχων είναι περιορισμένες και σαφώς μικρότερων διαστάσεων (Χάρτης 20, Εικόνα 57 – 62).

Ε.Ο. Φίλιας – Σκαλοχωρίου

Στα πετρώματα της ανώτερης μονάδας λαβών και αδρόκοκκου φανεροδακίτη (Χάρτης 18) εμφανίζονται περιορισμένης έκτασης και μεγέθους ενδείξεις. (Χάρτης 21, Εικόνα 63 – 68).

Οικισμός Σκαλοχωρίου

Η περιοχή αποτελείται από πετρώματα της ανώτερης μονάδας λαβών (Χάρτης 18). Υπάρχουν χαρακτηριστικές ενδείξεις κυρίως σε δακτιλικές λάβες τεχνητών πρηνών και σημείων απόληψης αδρανών υλικών. Μικρές ενδείξεις εμφανίζονται σε κράσπεδα του δρόμου ακολουθώντας τη διεύθυνση των εδαφικών διαρρήξεων ενώ κατά τόπους εμφανίζονται καταπτώσεις και μια μικρή μετακίνηση βράχου (Χάρτης 22, Εικόνα 69 – 74).

Προφήτης Ηλίας Σκαλοχωρίου

Η περιοχή δομείται με πετρώματα της ανώτερης μονάδας λαβών και αδρόκοκκου φανεροδακίτη (Χάρτης 18). Εντοπίστηκαν ελάχιστες ενδείξεις εδαφικών διαρρήξεων, ενδεχομένως εξαιτίας της αύξησης του υψομέτρου (Χάρτης 23, Εικόνα 75 – 80).

Άγιος Φανούριος

Στα πετρώματα αδρόκοκκου φανεροδακίτη (Χάρτης 18) εμφανίζεται γραμμική ανάπτυξη εδαφικών διαρρήξεων παράλληλα με τον δρόμο, σε ήδη καταπονημένα από τη διάνοιξη αλλά

και σε συμπαγή πετρώματα. Παρουσία ενδεχομένως παλαιότερων διαρρήξεων, ίδιας διεύθυνσης (Χάρτης 24, Εικόνα 81 – 86).

Λατομείο

Η περιοχή δομείται από πετρώματα της ανώτερης μονάδας λαβών (Χάρτης 18). Εντοπίστηκε συστηματική γραμμική ανάπτυξη επί του εδάφους επιφανειακών διαρρήξεων ίδιας διεύθυνσης σε απόσταση περίπου 400m. Εμφάνιση σε πρηνές του λατομείου, ως διάρρηξη επί του εδάφους, επί ξερολιθιάς και σε τεχνητά πρηνή. Αρκετές μικροδιαρρήξεις αλλοιώθηκαν ή χάθηκαν, με την πάροδο του χρόνου γεγονός που πιστοποιεί την ταχεία απώλεια τεκμηρίων λόγω του μικρού μεγέθους αλλά και των εξωγενών επιδράσεων στα χαλαρά ηφαιστειακά πετρώματα. Στην αλλοίωση τεκμηρίων – εν μέρει – συμβάλλει και η ανάπτυξη της κτηνοτροφίας και η ελεύθερη βόσκηση των κοπαδιών στην περιοχή (Χάρτης 25, Εικόνα 87 – 92).

Υψωμα Μεγαλοβούνι

Στα πετρώματα της ανώτερης μονάδας λαβών (Χάρτης 18) εμφανίζονται ελάχιστες ενδείξεις εδαφικών διαρρήξεων, κυρίως σε παλιό λατομείο, ενδεχομένως λόγω της αύξησης του υψομέτρου και της απουσίας αξιόλογων πρηνών, (Χάρτης 26, Εικόνα 93 – 98)

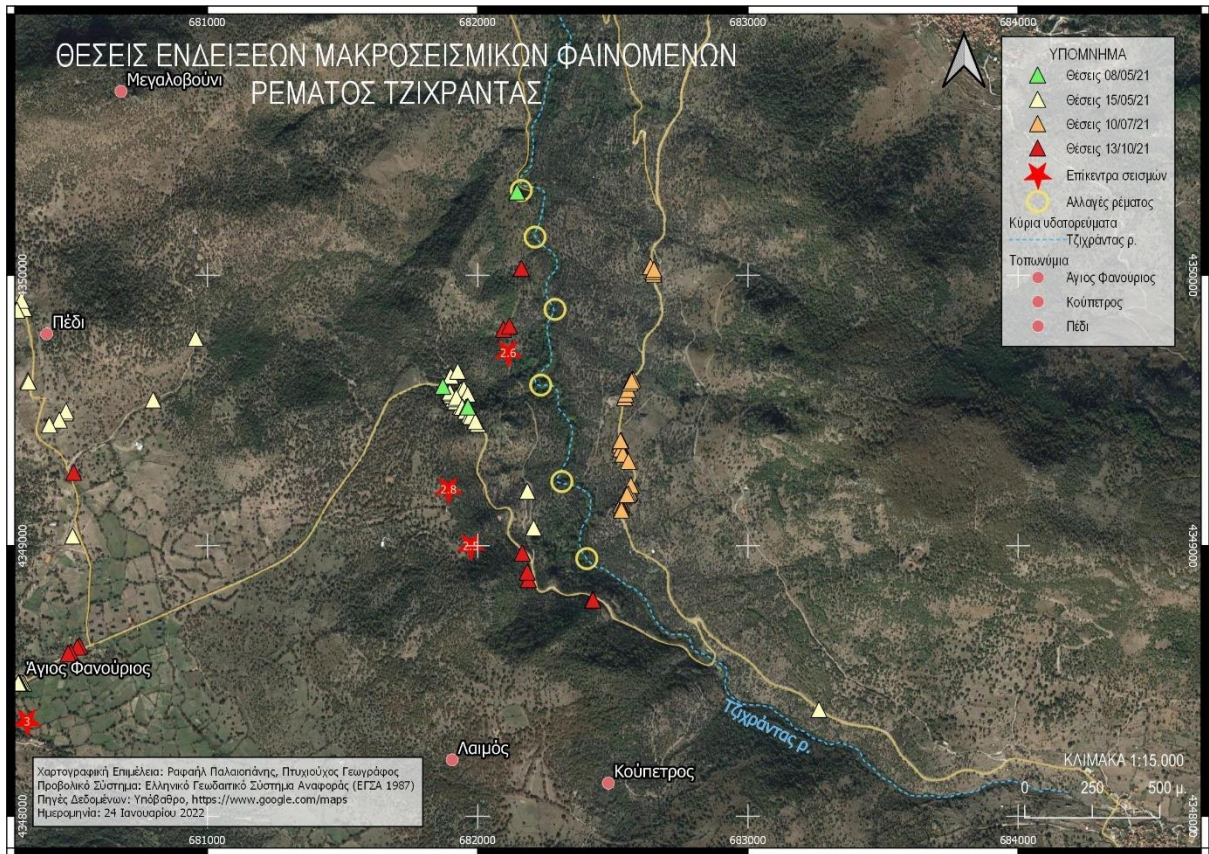
Ιχθυοτροφεία

Η περιοχή δομείται από πυροκλαστικές ενστρώσεις και τμήμα της από πετρώματα της ανώτερης μονάδας λαβών (Χάρτης 18). Υπάρχει πλήθος εδαφικών διαρρήξεων διαφόρων διευθύνσεων, καταπτώσεις βράχων σε πρηνή παλιού λατομείου, κατακερματισμένα πετρώματα. Επίσης εντοπίστηκαν πιθανά παλιά ρήγματα και πιθανό ενεργό αριστερόστροφο ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης (Χάρτης 27, Εικόνα 99 – 104).

Μπαλίνη – Αγ. Μαρίνα

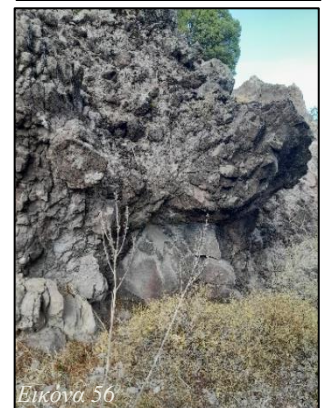
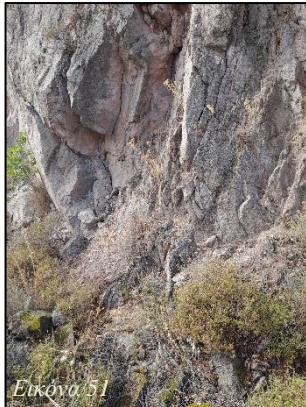
Η περιοχή αποτελεί τη ευρύτερη σε έκταση και δομείται από πετρώματα της ανώτερης μονάδας λαβών, πυροκλαστικές ενστρώσεις, ποτάμιες αποθέσεις και παράκτιες άμμους (Χάρτης 18). Τα τεκμήρια που εντοπίστηκαν ήταν σαφώς λιγότερα, πιθανώς επειδή η περιοχή τοποθετείται στο άκρο της κύριας ζώνης εμφάνισης των σεισμικών αποτελεσμάτων (Χάρτης 28, Εικόνα 105 – 110).

4.2.2 Ρέμα Τζιχράντας

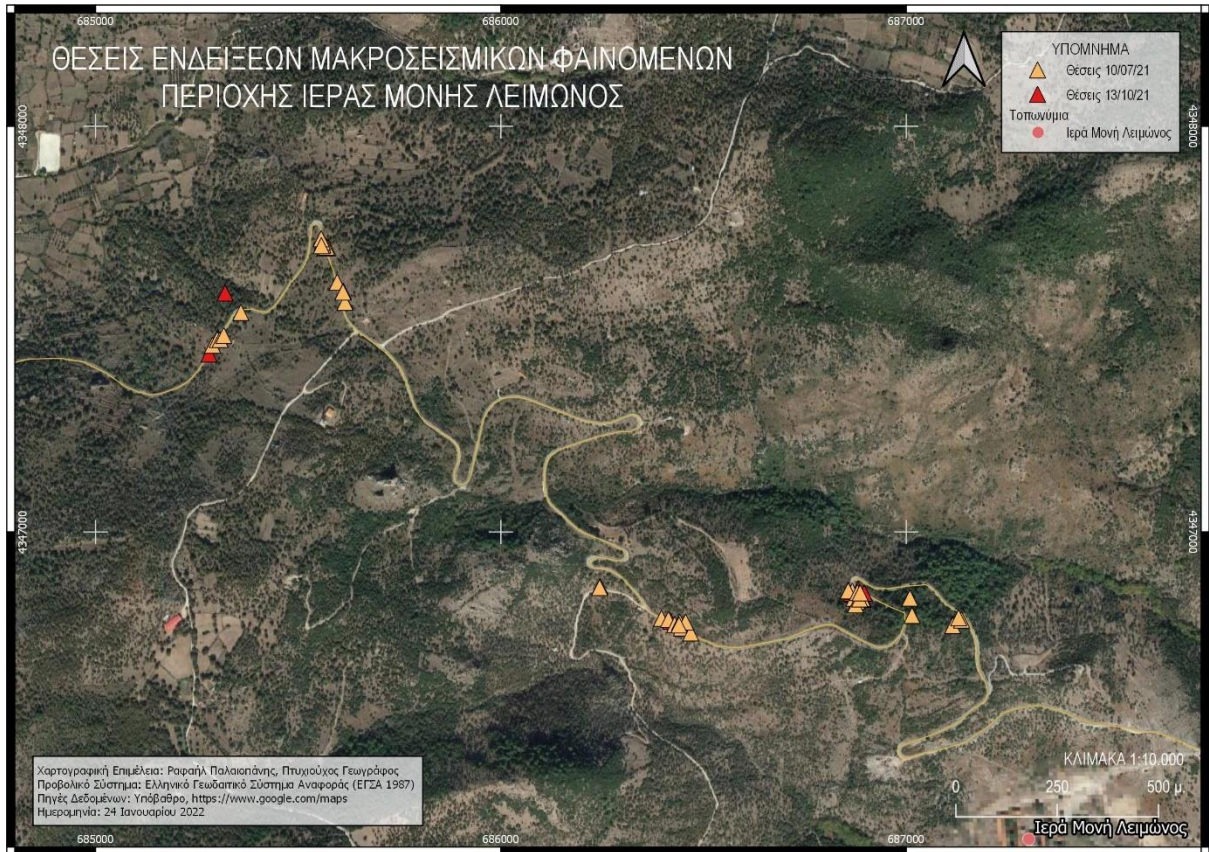


Χάρτης 19 Ενδείξεις περιοχής ρέματος Τζιχράντας

4.2.2.1 Εικόνες 51 – 56

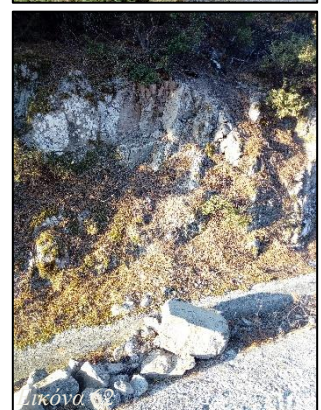
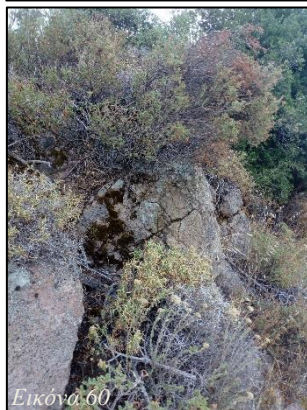


4.2.3 Ιερά Μονή Λειμώνος

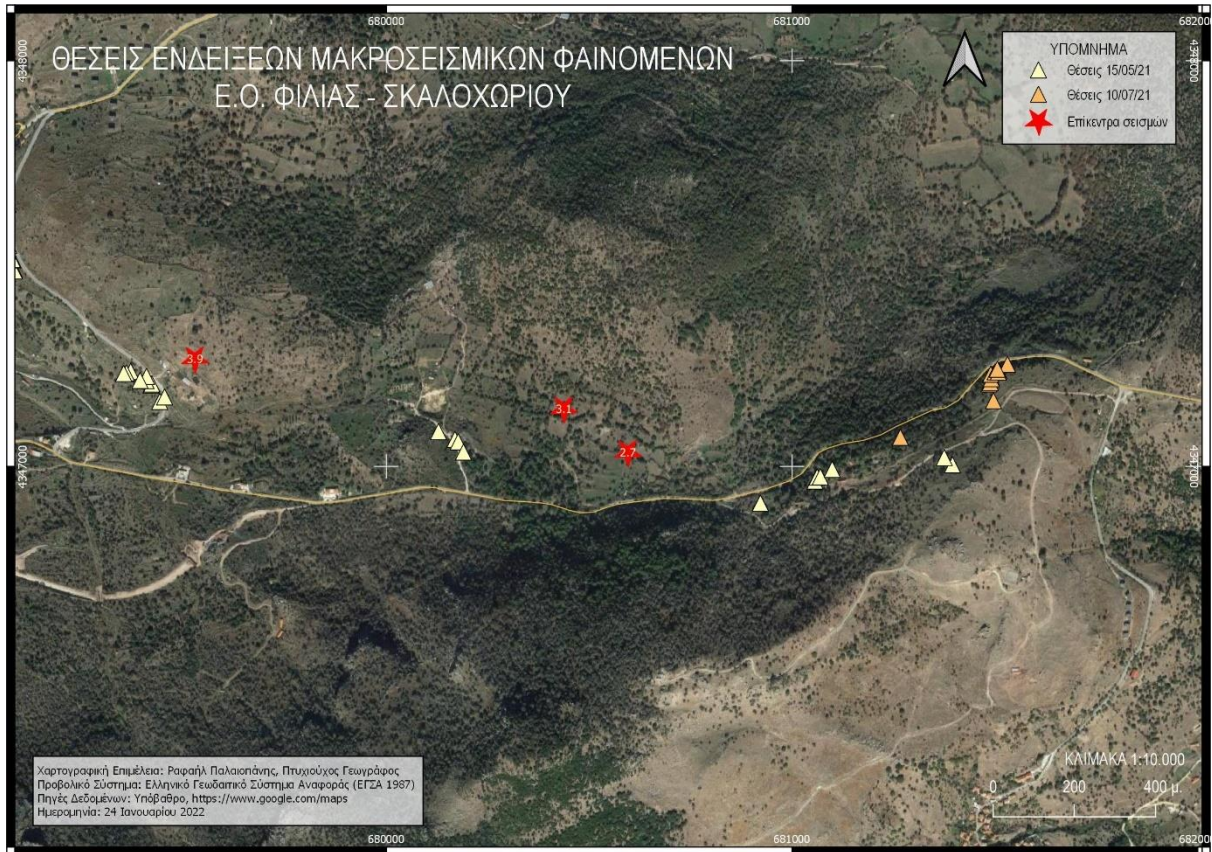


Χάρτης 20 Ενδείξεις περιοχής Ιεράς Μονής Λειμώνος

4.2.3.1 Εικόνες 57 – 62

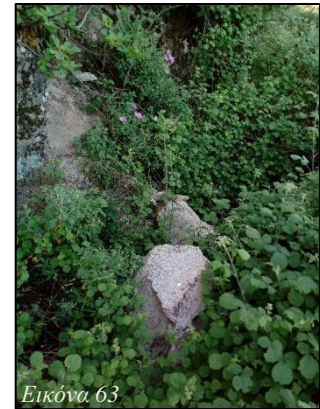


4.2.4 Επαρχιακή Οδός Φίλιας - Σκαλοχωρίου

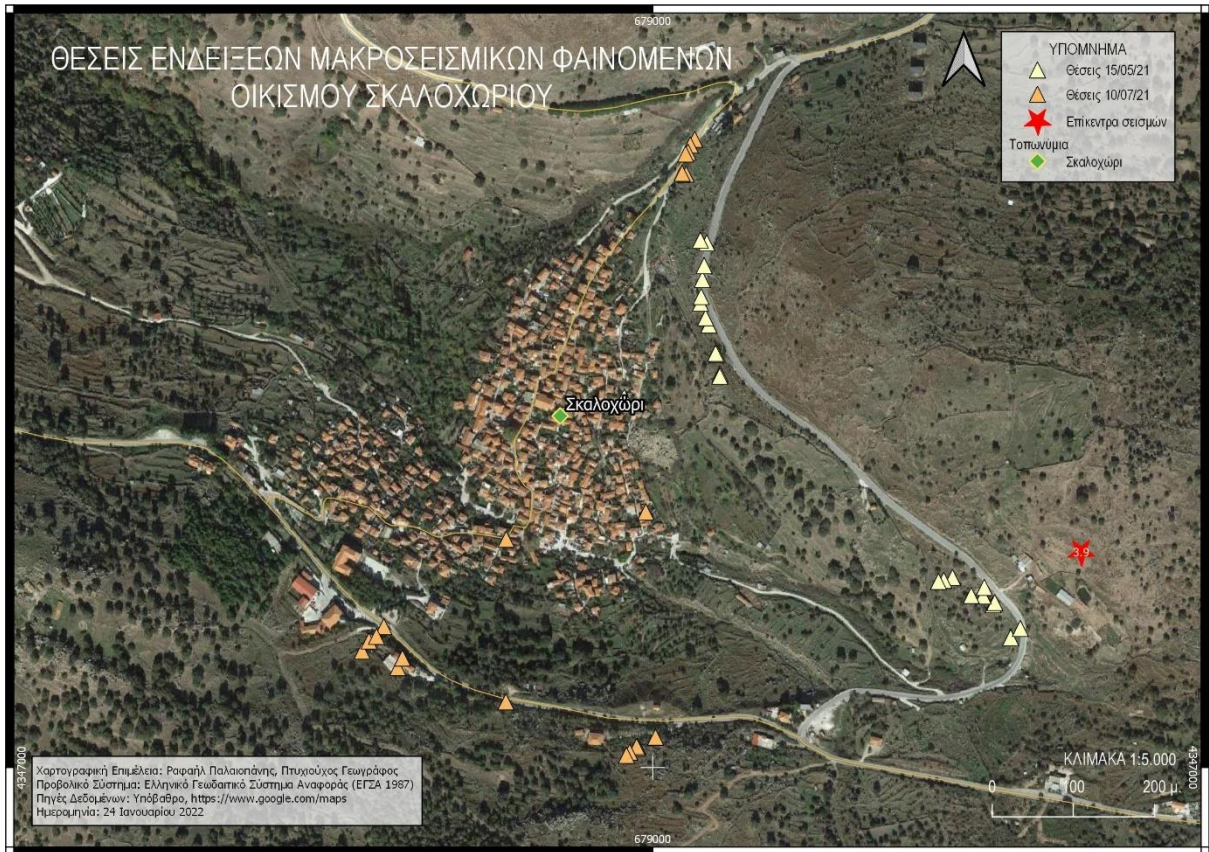


Χάρτης 21 Ενδείξεις περιοχής Επαρχιακής Οδού Φίλιας - Σκαλοχωρίου

4.2.4.1 Εικόνες 63 – 68

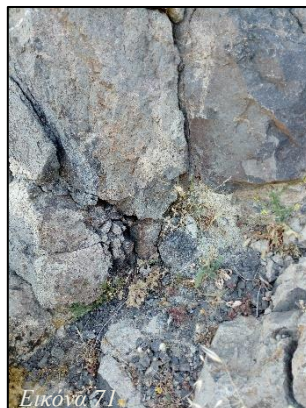
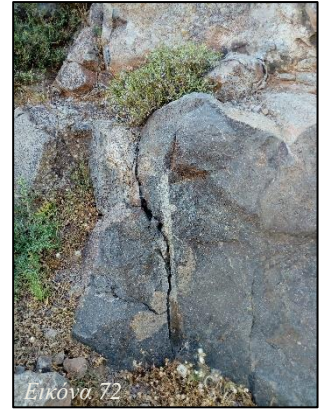


4.2.5 Οικισμός Σκαλοχωρίου

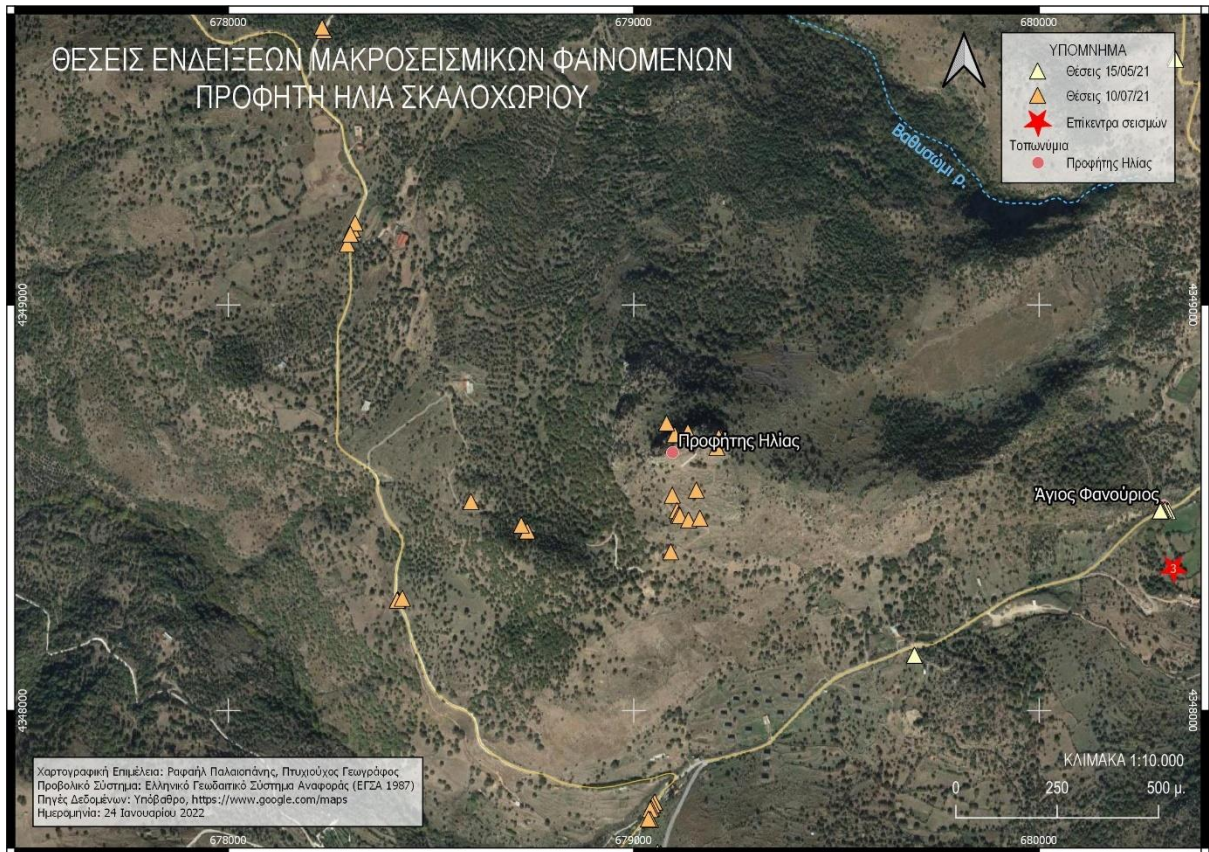


Χάρτης 22 Ενδείξεις περιοχής οικισμού Σκαλοχωρίου

4.2.5.1 Εικόνες 69 – 74

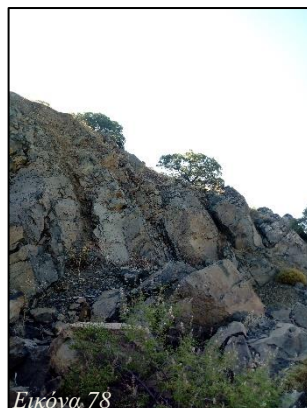
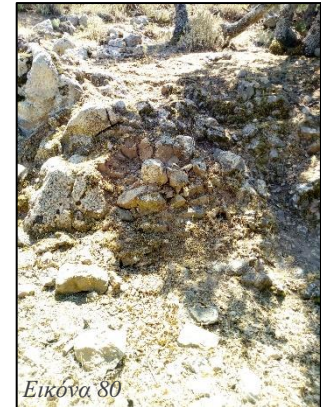


4.2.6 Προφήτης Ηλίας Σκαλοχωρίου

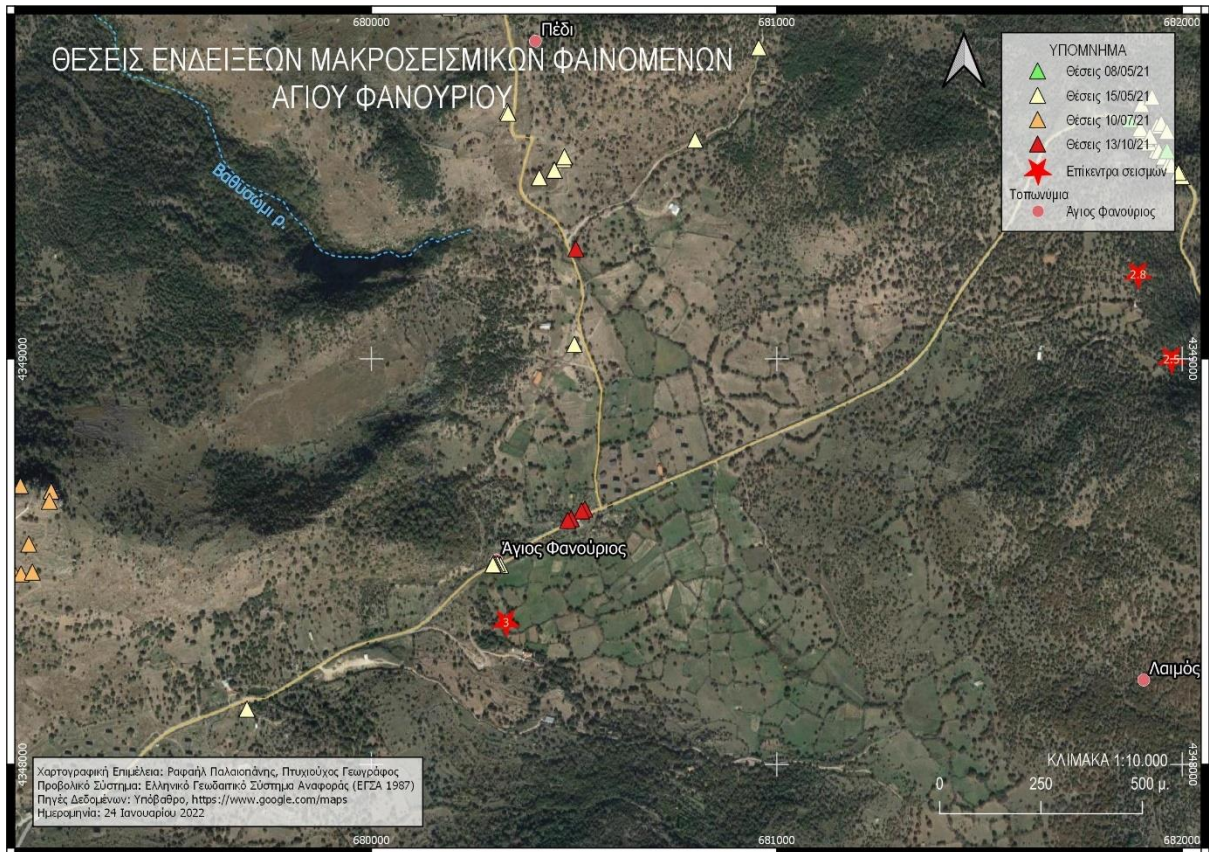


Χάρτης 23 Ενδείξεις περιοχής Προφήτη Ηλία Σκαλοχωρίου

4.2.6.1 Εικόνες 75 – 80

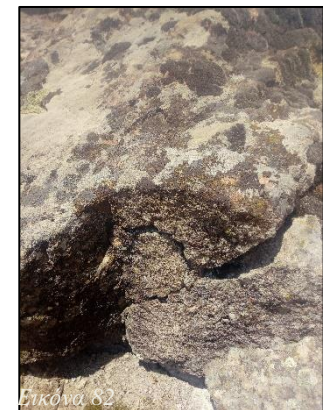
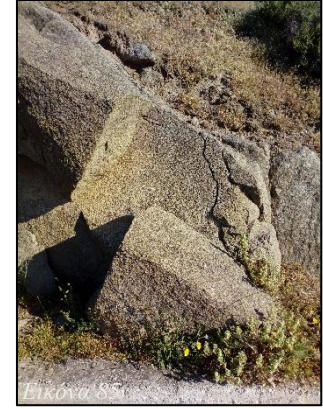


4.2.7 Άγιος Φανούριος

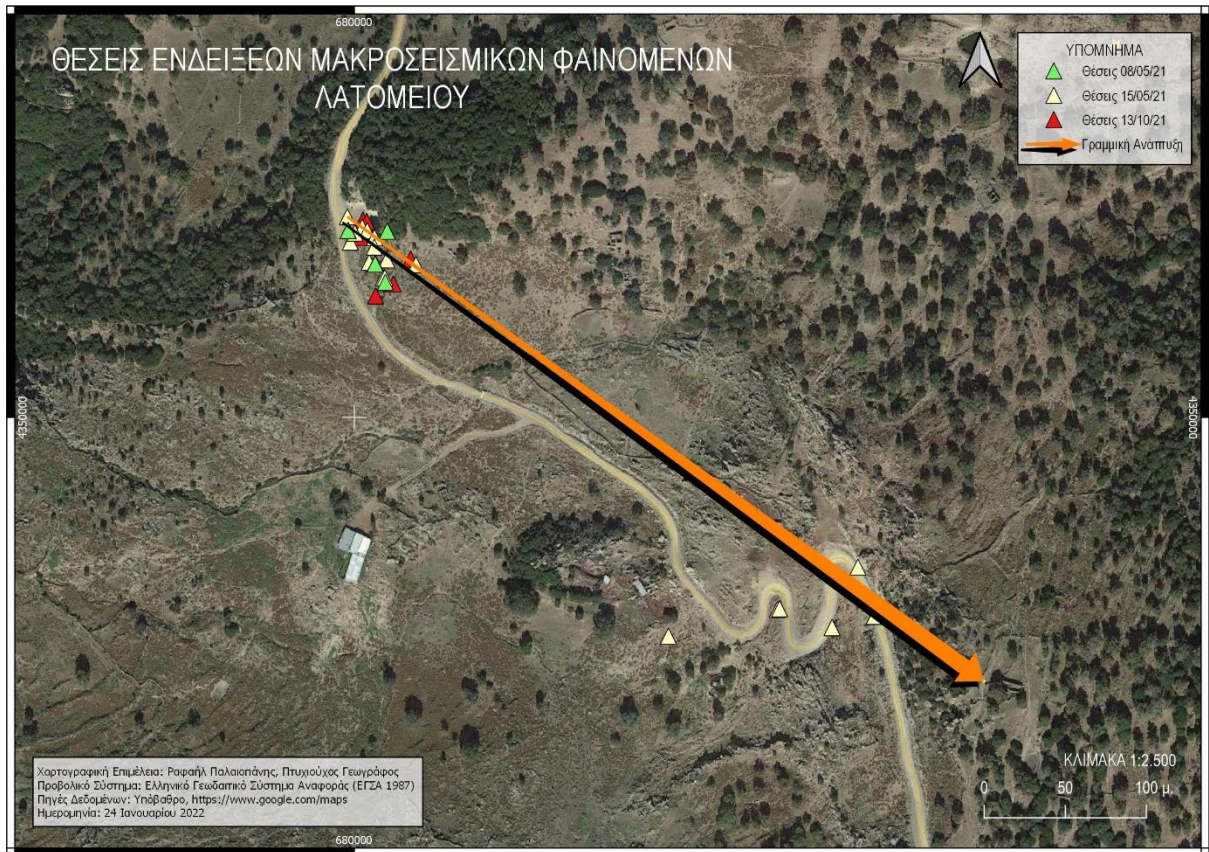


Χάρτης 24 Ενδείξεις περιοχής Αγίου Φανουρίου

4.2.7.1 Εικόνες 81 – 86

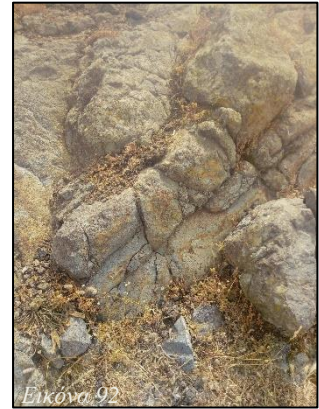


4.2.8 Λατομείο

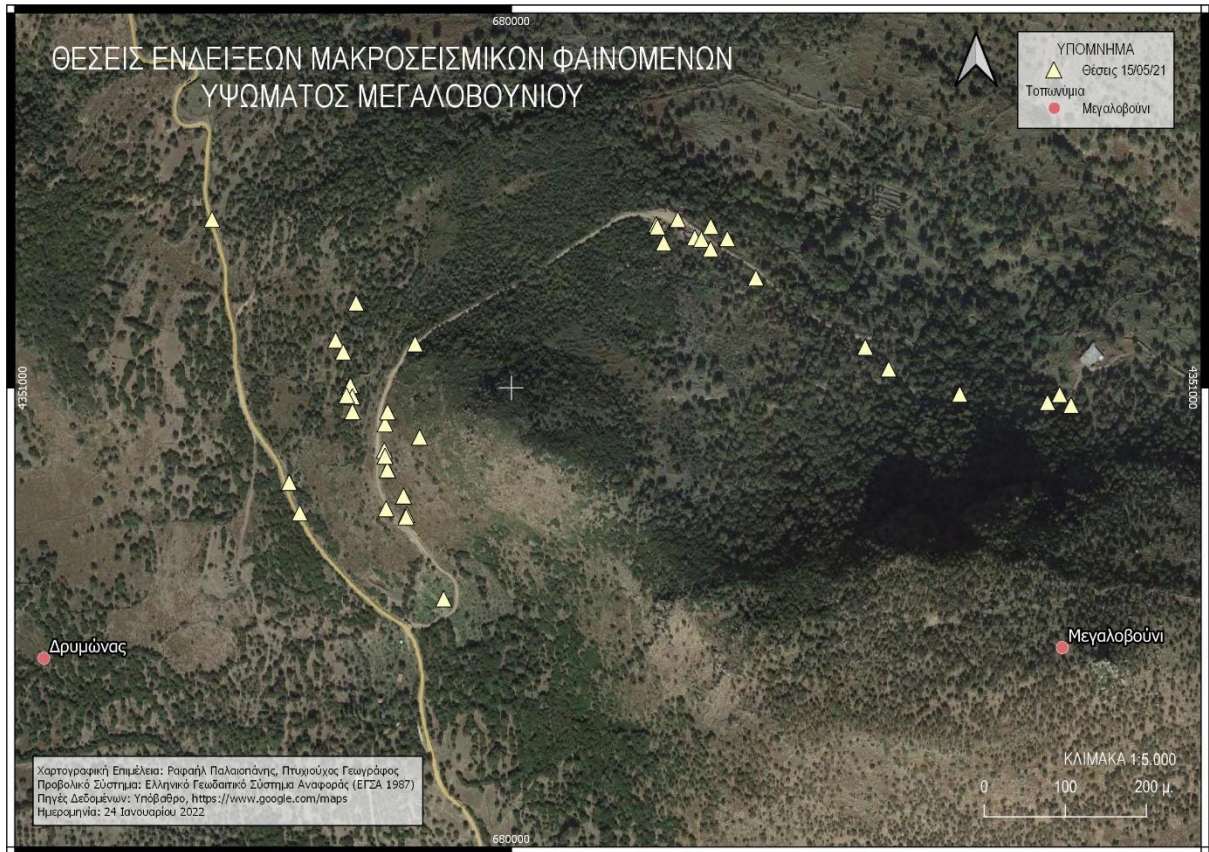


Χάρτης 25 Ενδείξεις περιοχής Λατομείου

4.2.8.1 Εικόνες 87 – 92

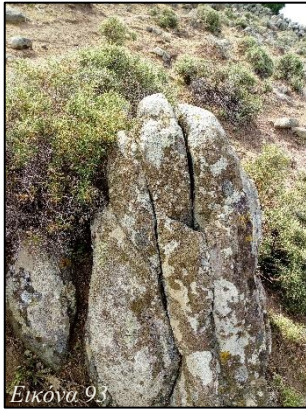


4.2.9 Ύψωμα Μεγαλοβούνι

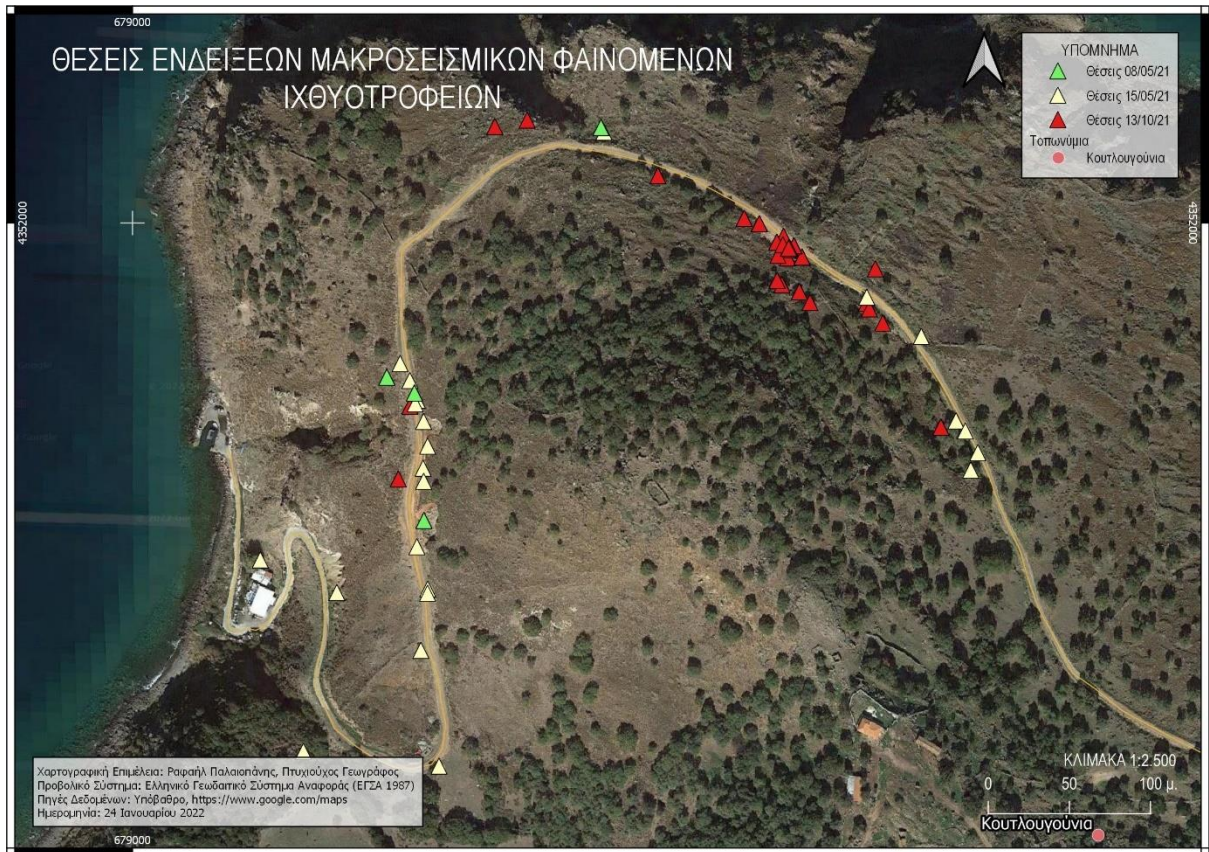


Χάρτης 26 Ενδείξεις περιοχής Ύψωματος Μεγαλοβουνίου

4.2.9.1 Εικόνες 93 – 98

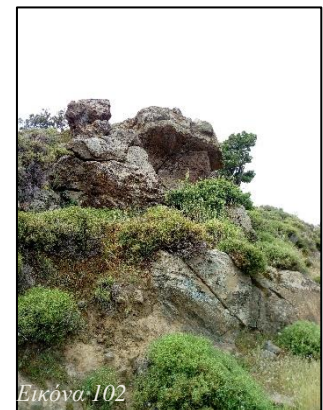
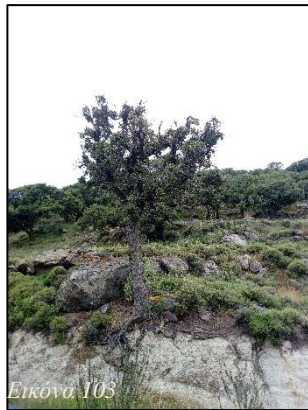


4.2.10 Ιχθυοτροφεία

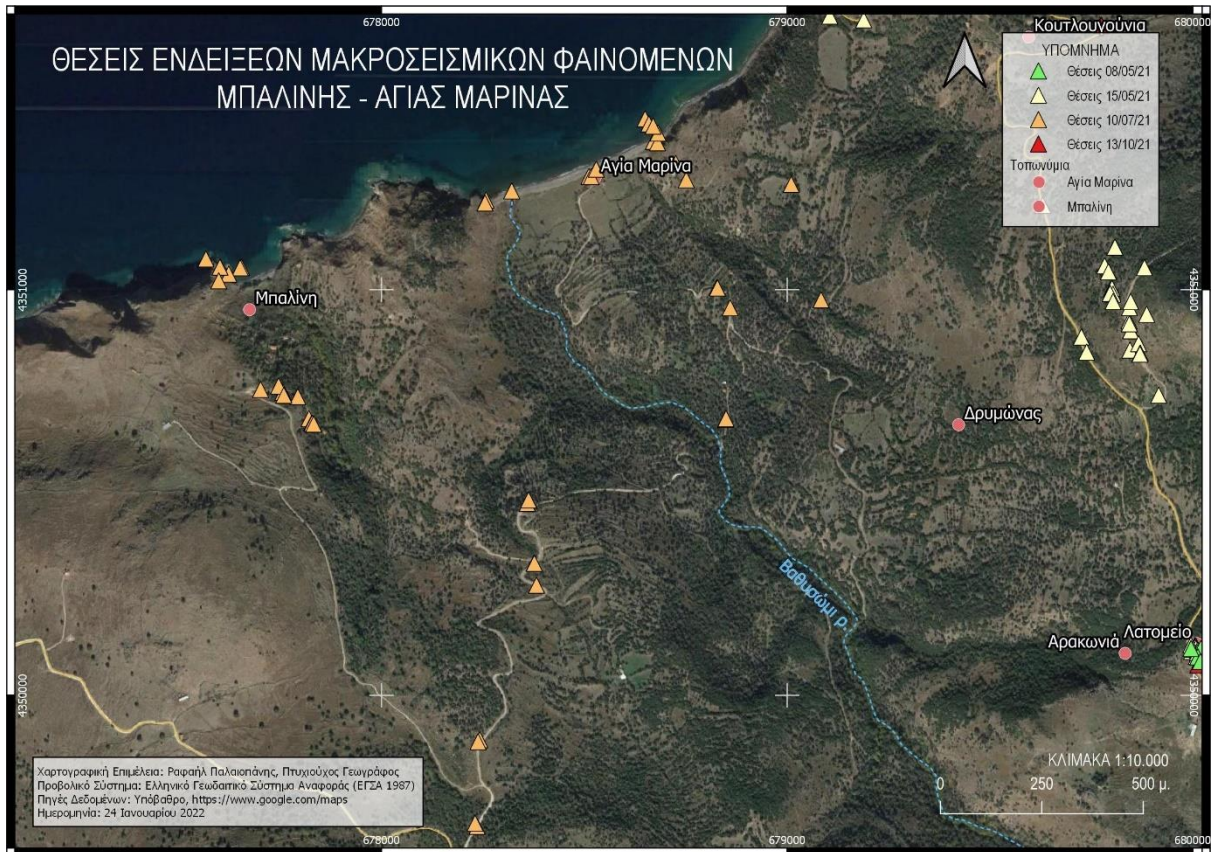


Χάρτης 27 Ενδείξεις περιοχής Ιχθυοτροφείων

4.2.10.1 Εικόνες 99 – 104

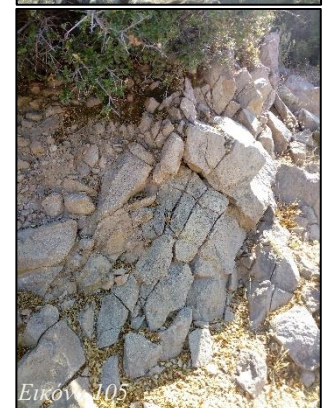
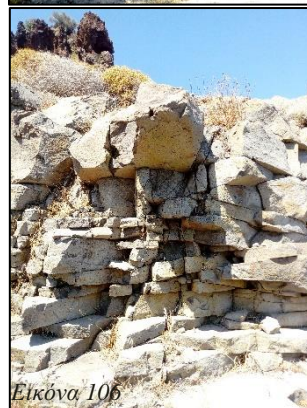
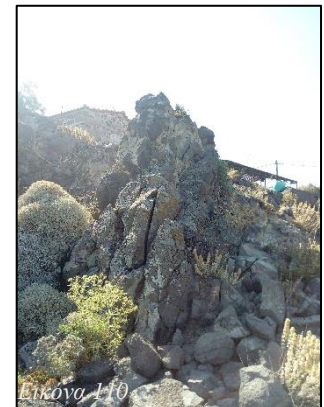
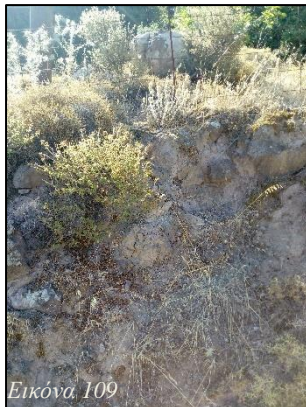


4.2.11 Μπαλίνη – Αγία Μαρίνα



Χάρτης 28 Ενδείξεις Μπαλίνης – Αγίας Μαρίνας

4.2.11.1 Εικόνες 105 – 110



4.2.12 Ηφαιστειακή Φλέβα Φίλιας

Οι ηφαιστειακές φλέβες αποτελούν διεισδύσεις λάβας στα ανώτερα στρώματα του φλοιού. Συνήθως η διάταξή τους είναι προσανατολισμένη κάθετα ή ελαφρώς κεκλιμένα σε σχέση με τα πετρώματα μέσα στα οποία φιλοξενούνται. Η ηφαιστειακή φλέβα της Φίλιας αποτελεί χαρακτηριστική δομή της νεότερης ηφαιστειακής δραστηριότητας στη Λέσβου που ξεκίνησε πριν 17 εκ. έτη. Τα παλαιότερα πετρώματα γύρω από αυτή, διαβρώθηκαν ενώ το ανθεκτικότερο δακτιτικό πέτρωμα δημιούργησε τη συγκεκριμένη γεωμορφή (Εικόνα 111) (Ζούρος, et al., 2015) (Γεωπάρκο Λέσβου, χ.χ.).

Επειδή διαπιστώθηκαν σημαντικές διαρρήξεις κυρίως σε δακτιτικά πετρώματα κρίθηκε απαραίτητη και η έρευνα της ηφαιστειακής φλέβας της Φίλιας αφού πρόκειται για μια σχετικά μεγάλη δομή (περίπου 500 μ.), πλησίον της περιοχής μελέτης και με ίδιας σύστασης πέτρωμα (Εικόνα 112 – 119).



Εικόνα 111



Εικόνα 112



Εικόνα 113



Εικόνα 114



Εικόνα 115



Εικόνα 116



Εικόνα 119



Εικόνα 118



Εικόνα 117

4.3 Νεοτεκτονικές Δομές

Κατά την έρευνα στο πεδίο εντοπίστηκαν πιθανά ρήγματα σε διάφορες θέσεις στην περιοχή που πιστοποιούν τη σεισμικότητα της περιοχής (Εικόνα 120,121) ενώ στην περιοχή Ιχθυοτροφεία εντοπίστηκε αριστερόστροφο ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης (Εικόνα 122 - 129).



Εικόνα 120 Κανονικό Ρήγμα Περιοχή Ρέμα Τζιγράντας



Εικόνα 121 Κανονικό ρήγμα Περιοχή Λατομείο



Εικόνα 123



Εικόνα 122



Εικόνα 127



Εικόνα 125



Εικόνα 126



Εικόνα 124



Εικόνα 128

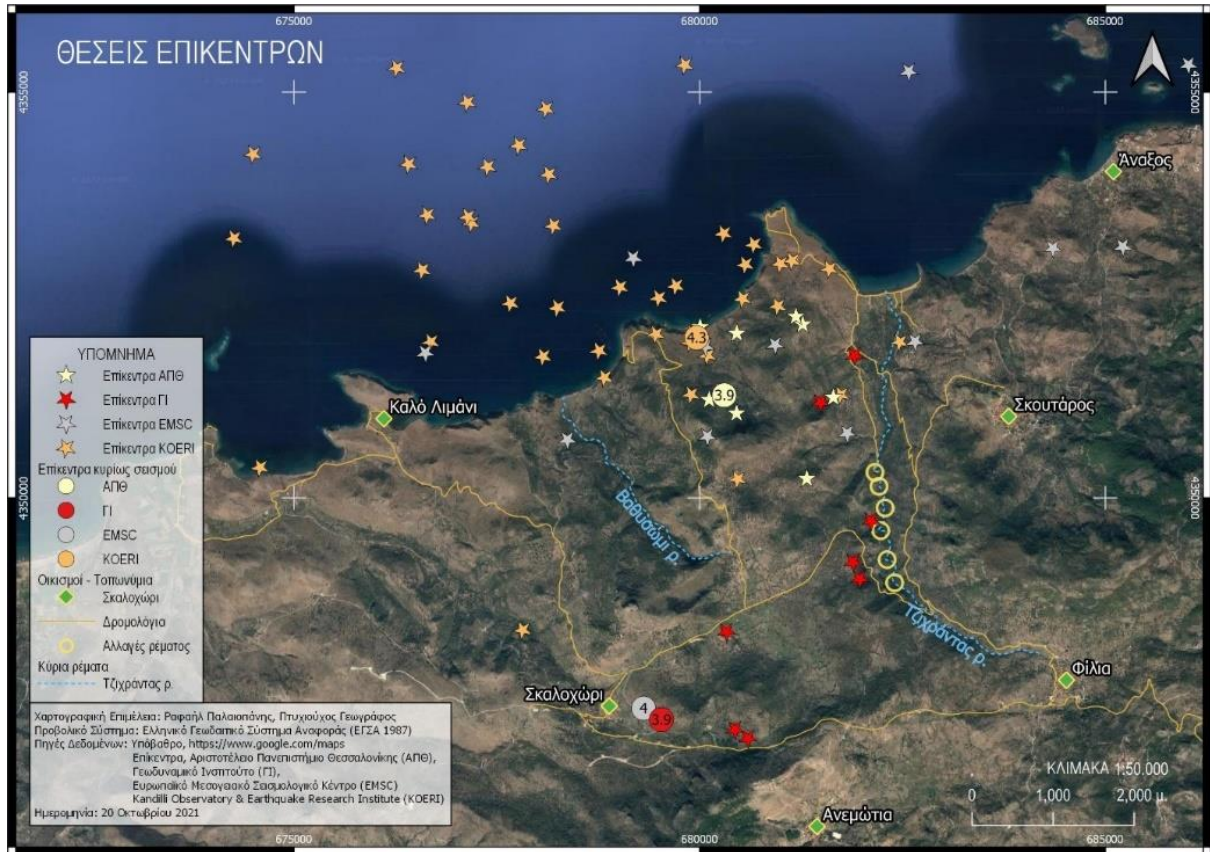


Εικόνα 129

4.4 Σεισμολογικά δεδομένα

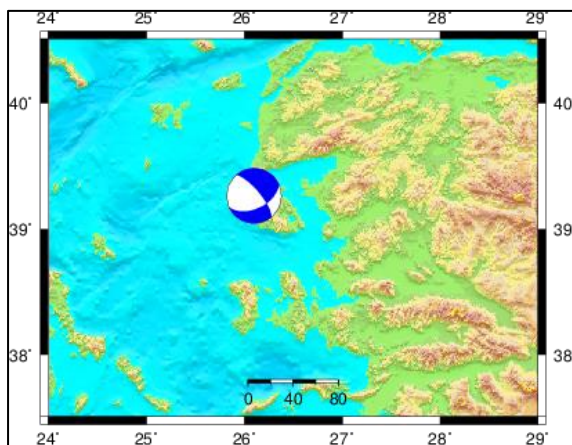
Για τις ανάγκες της εργασίας συγκεντρώθηκαν επιπρόσθετα σεισμολογικά δεδομένα από διάφορα σειсмоγραφικά δίκτυα και χαρτογραφήθηκαν (Χάρτης 29). Τα επίκεντρα ελήφθησαν από τους καταλόγους σεισμών των ακόλουθων ερευνητικών ιδρυμάτων:

- Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, (ΑΠΘ, 2021). Σειτ δεδομένων: 9 επίκεντρα
- Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021), Σειτ δεδομένων: 11 επίκεντρα
- Ευρωπαϊκό Μεσογειακό Σεισμολογικό Κέντρο, (EMSC, 2021), Σειτ δεδομένων: 22 επίκεντρα
- Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. (KOERI, 2021), Σειτ δεδομένων: 40 επίκεντρα

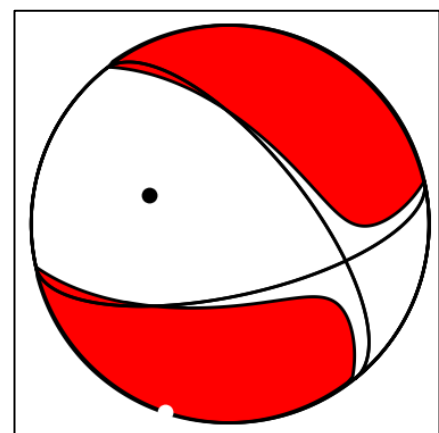


Χάρτης 29 Θέσεις επικέντρων

Οι λύσεις των μηχανισμών γένεσης προήλθαν από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο (2021), (Εικόνα 130) και από το Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών (2021), (Εικόνα 131) (Λεπτομέρειες βλ. Παράρτημα).



Εικόνα 131 Μηχανισμός γένεσης Τμήματος Γεωλογίας Πανεπιστημίου Αθηνών

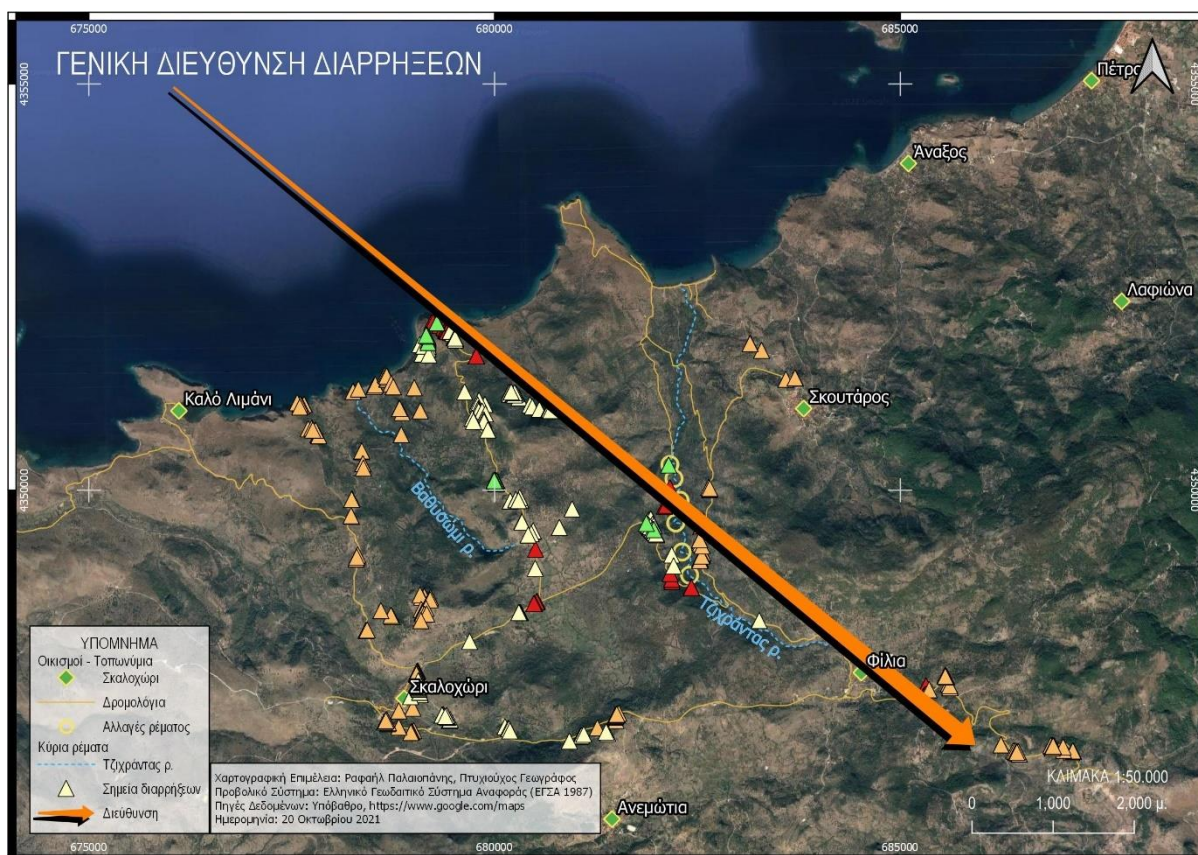


Εικόνα 130 Μηχανισμός γένεσης Γεωδυναμικού Ινστιτούτου

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα

5.1 Μακροσεισμικά Αποτελέσματα

Από την γενική διάταξη των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων στον χώρο προκύπτει μια γενική διεύθυνση εμφάνισης ΒΔ – ΝΑ (Χάρτης 30). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι διευθύνσεις των επιμέρους διαρρήξεων ποικίλουν, κάτι που είναι αναμενόμενο αφού τα πετρώματα δεν κατακερματίζονται με ομοιόμορφο τρόπο.



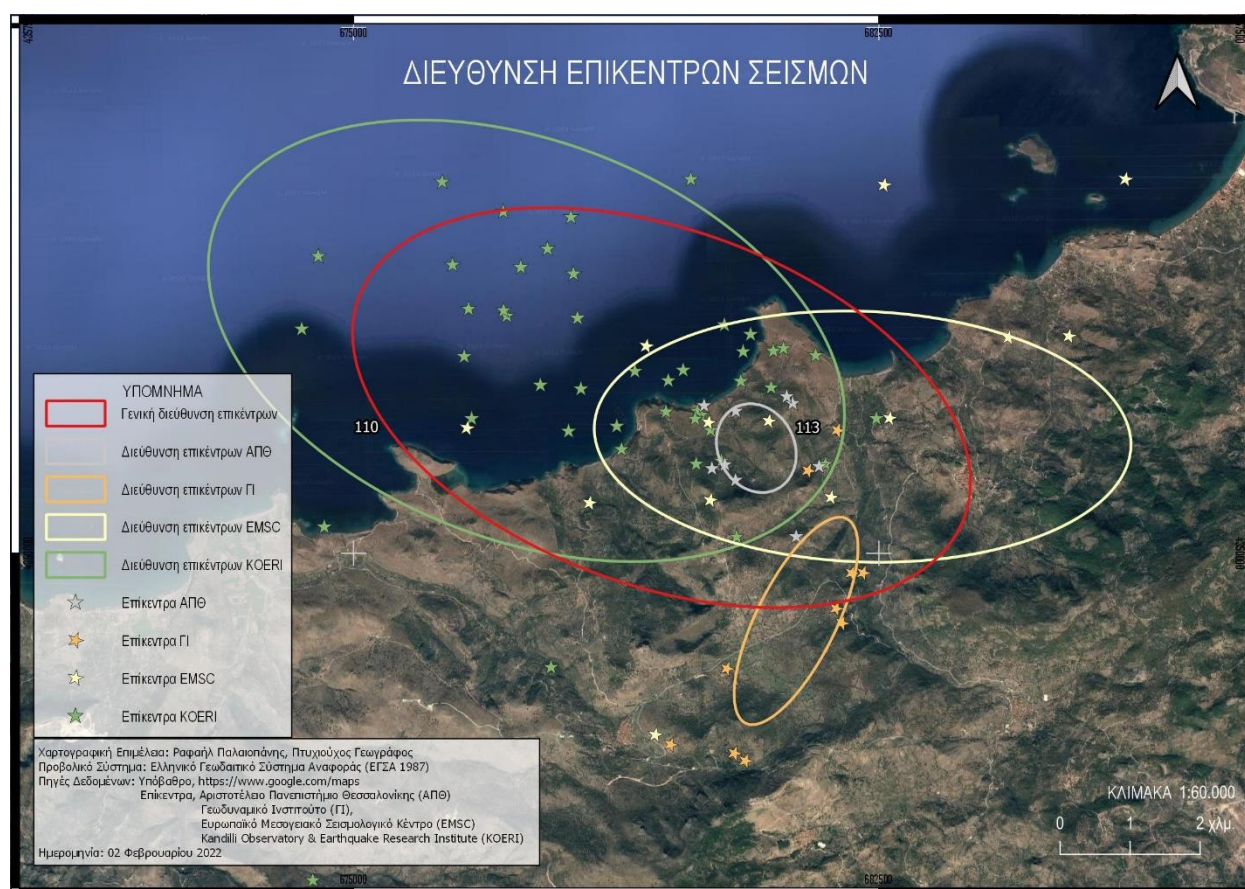
Χάρτης 30 Γενική Διεύθυνση Διαρρήξεων

5.2 Κατανομή Επικέντρων

Σύμφωνα με την κατανομή των επικέντρων στον χώρο και τον υπολογισμό της διεύθυνσης του κυρίως άξονα της τυπικής έλλειψης (standard deviational ellipse) (Yuill, 1971) προκύπτει γενική διεύθυνση των επικέντρων ΒΔ – ΝΑ με αξιμουθιακή γωνία 110° (Πίνακας 14), (Χάρτης 31).

Πίνακας 14 Διεύθυνση Τοπικής Έλλειψης Επικέντρων

Σετ Δεδομένων	Αζιμουθιακή γωνία (°)	Διεύθυνση
ΑΠΘ	113	BBΔ – NNA
ΓΙ	36	BBA – NNA
EMSC	92	Δ – Α
KOERI	104	BΔ – NA
Σύνολο Επικέντρων	110	BΔ – NA

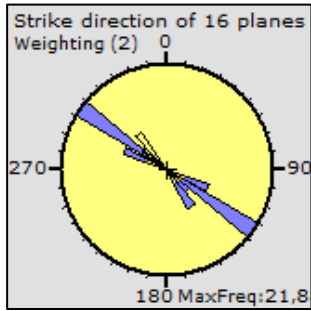


Χάρτης 31 Διεύθυνση επικέντρων

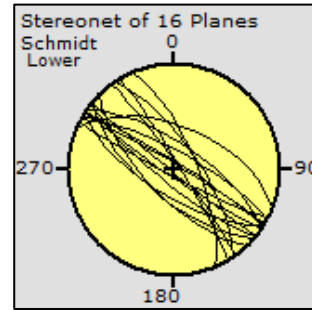
5.3 Αριστερόστροφο Ρήγμα Οριζόντιας Ολίσθησης

Από την επεξεργασία των μετρήσεων στις γραμμές του αριστερόστροφου ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης στην περιοχή Ιχθυοτροφεία προκύπτει διεύθυνση ρηξιγενούς επιφάνειας ΒΔ – ΝΑ (Εικόνα 132 – 135). Επιπλέον, από την παρατήρηση των δορυφορικών εικόνων

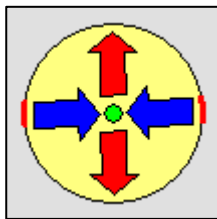
εικάζεται ότι το μήκος του αριστερόστροφου ρήγματος είναι μεγαλύτερο και χρήζει περαιτέρω διερεύνησης (Χάρτης 32).



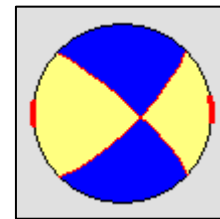
Εικόνα 132 Ροδοδιάγραμμα παρατάξεων γραμμώσεων ρήγματος



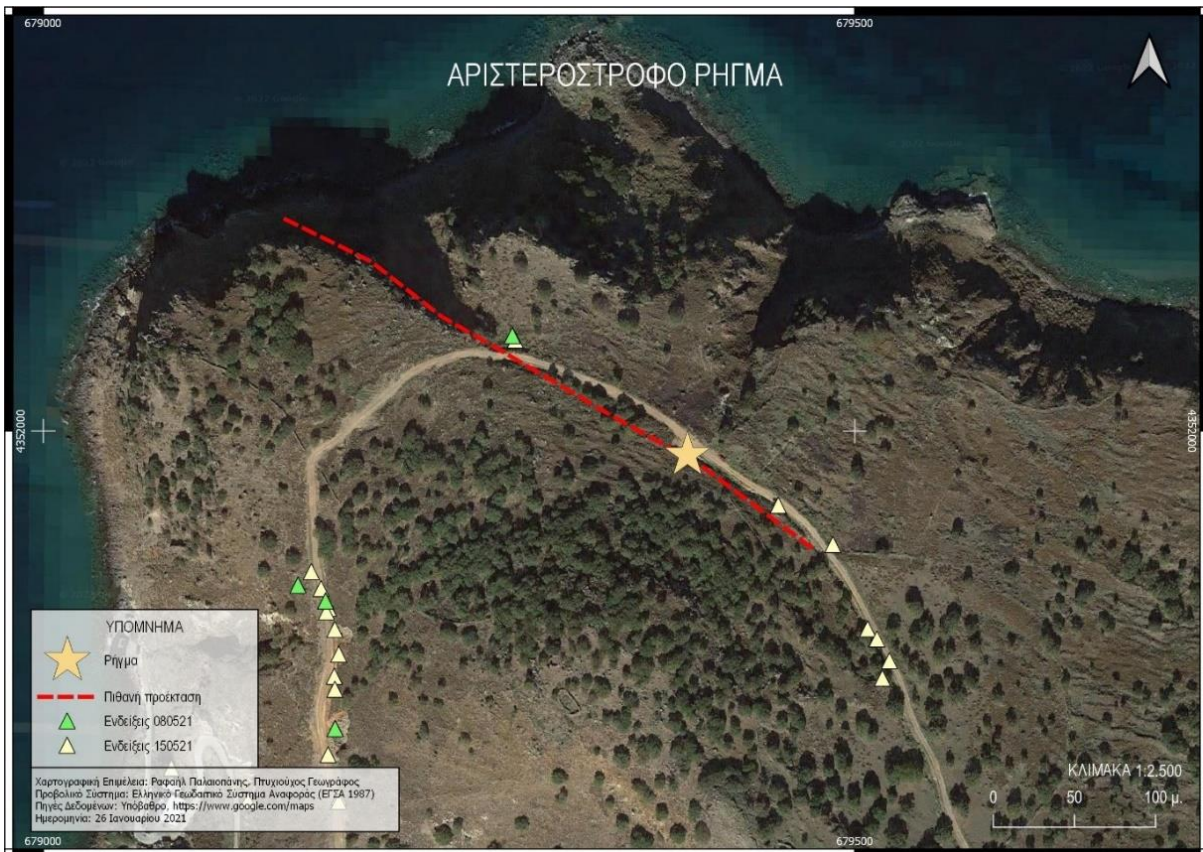
Εικόνα 135 Προσανατολισμός Διαρρήξεων



Εικόνα 133 Τάσεις εφελκυσμού και συμπίεσης



Εικόνα 134 Κάθετη προβολή τάσεων



Χάρτης 32 Πιθανή προέκταση αριστερόστροφο ρήγματος

5.4 Ηφαιστειακή Φλέβα Φίλιας

Οι ενδείξεις που εντοπίστηκαν στη φλέβα, αφορούσαν πρόσφατες μικρές διαρρήξεις και αποκολλήσεις μικρών τεμαχών, οι οποίες δεν είναι όμως βέβαιο ότι σχετίζονται με το σεισμικό γεγονός. Ζητήματα που ενδεχομένως θα πρέπει να εξεταστούν περαιτέρω είναι η σχέση μεταξύ της διάταξης της δομής με την κύρια διεύθυνση των διαρρήξεων, το μέγεθος της δομής, η έλλειψη πρότερων αστοχιών στον κύριο όγκο του πετρώματος, κ.α. που ίσως σχετίζονται με την απουσία μεγαλύτερων διαρρήξεων (Χάρτης 33).



Χάρτης 33 Ηφαιστειακή Φλέβα Φίλιας

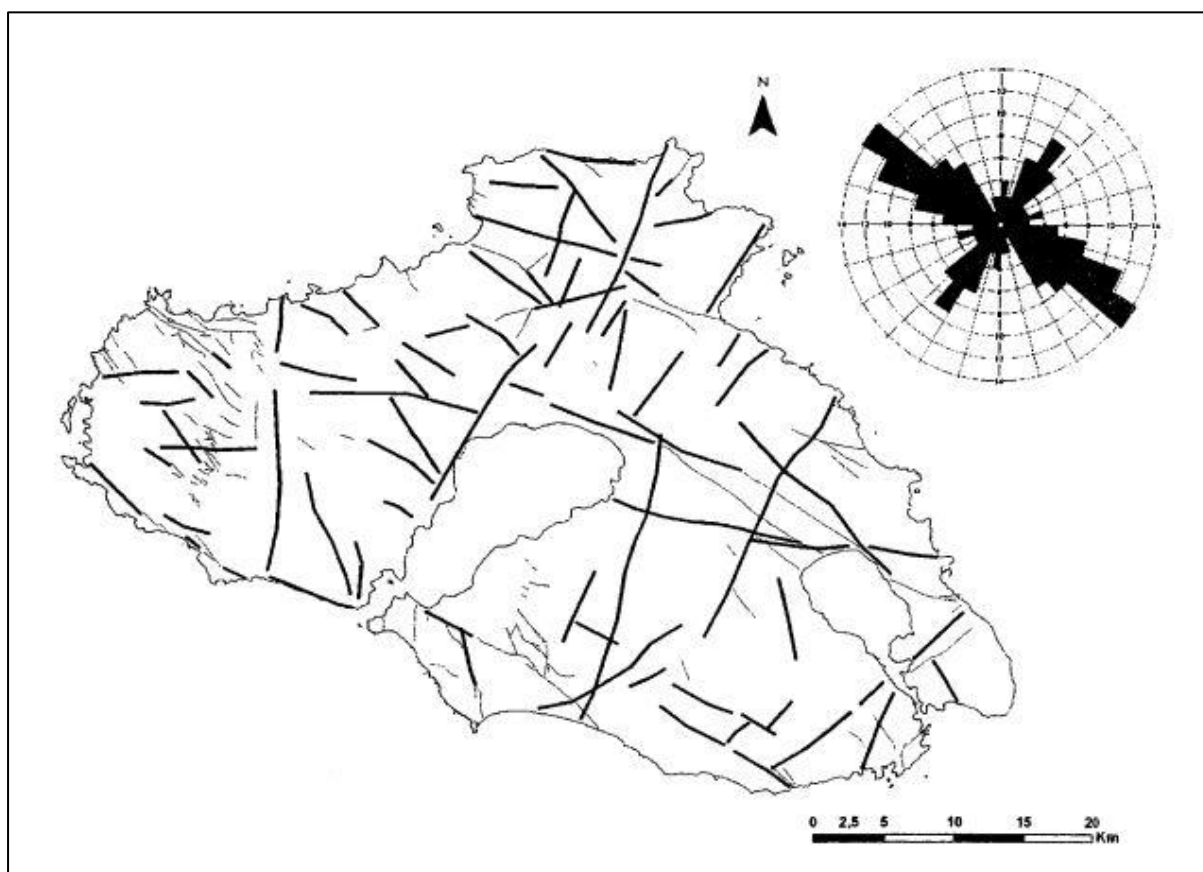
5.4 Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Συγκρίνοντας τις εστιακές παραμέτρους των επιλύσεων του μηχανισμού γένεσης του σεισμού από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο και το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών προκύπτει σαφής ταύτιση μεταξύ τους (Πίνακας 15). Ακολούθως, στο ροδodιάγραμμα παρατάξεων των γραμμώσεων του αριστερόστροφου ρήγματος παρατηρείται μια κύρια ομάδα διεύθυνσης ΔΒΔ – ΝΝΑ (305°) που βρίσκεται αρκετά κοντά με την παράταξη από τους μηχανισμούς γένεσης (320°). Αντίστοιχη γενική διεύθυνση παρουσιάζει η εμφάνιση των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων αλλά και η κατανομή των επικέντρων στον χώρο (290°).

Πίνακας 15 Εστιακές Παράμετροι

	Παράταξη (strike) (°)	Κλίση (dip) (°)	Γων. Ολίσθησης (rake) (°)
Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών	321	55	-41
	78	57	-137
Εργαστήριο Σεισμολογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών	320	72	-41
	65	51	-157

Επίσης, τα παραπάνω αποτελέσματα ταυτίζονται με ευρήματα παλαιότερων εργασιών που σχετίζονται με την γεωμορφολογική χαρτογράφηση γραμμικών χαρακτηριστικών του μορφοανάγλυφου με τη χρήση δορυφορικών εικόνων (Soulakellis, et al., 2006). Στο ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων εμφανίζεται μία κύρια ομάδα γραμμικών στοιχείων αντίστοιχης διεύθυνσης (310°) η οποία εντοπίζεται και στην περιοχή μελέτης στον σχετικό χάρτη (Χάρτης 34).

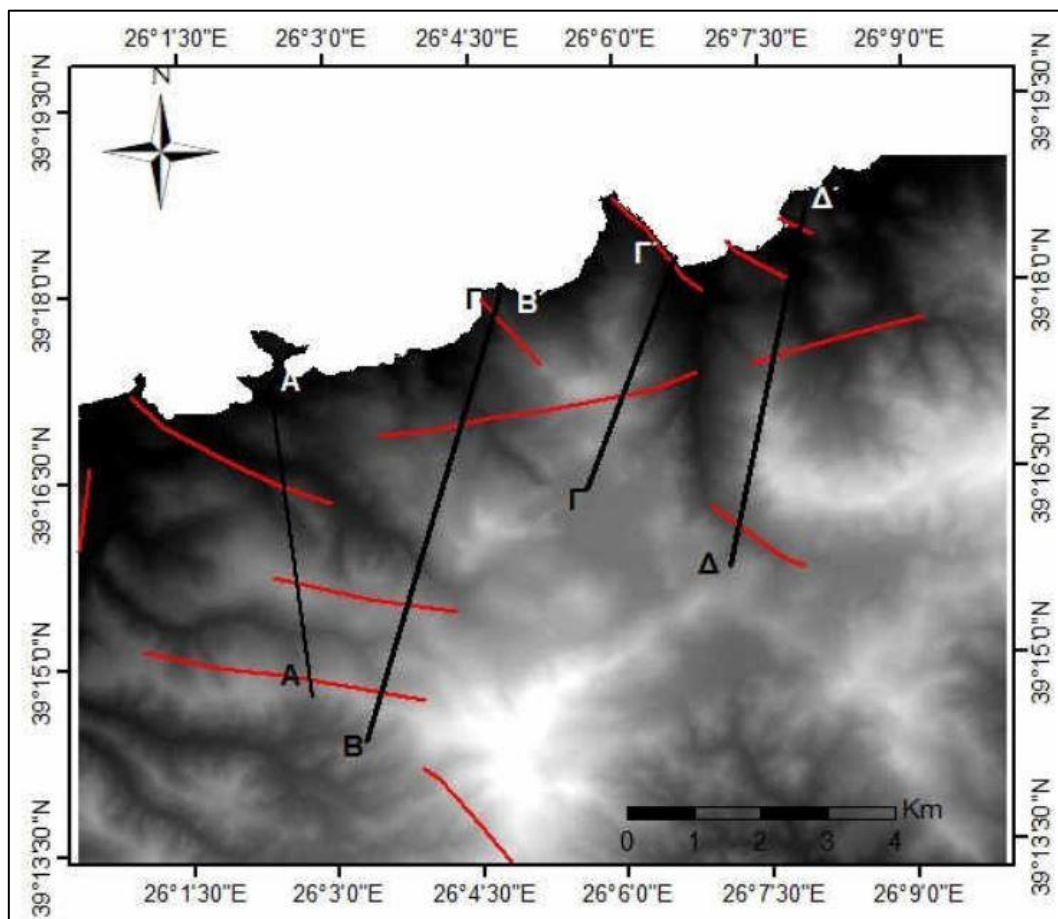


Χάρτης 34 Χάρτης γραμμικών χαρακτηριστικών μορφοανάγλυφου. Πηγή: (Soulakellis, et al., 2006)

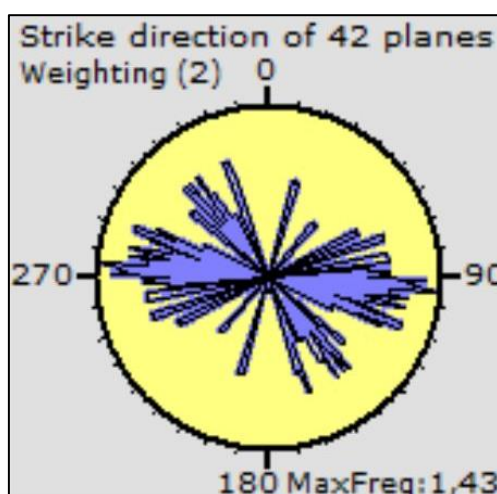
Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν από πρόσφατη εργασία της κ. Όλγας Μουρουζίδου (2021) στην περιοχή μελέτης. Αναλυτικότερα, στα ρήγματα της περιοχής Βατούσας –

Ανεμότιας – Σκουτάρου και της παράκτιας ζώνης Άντισσας – Σκαλοχωρίου εμφανίζονται δύο ομάδες διευθύνσεων (Χάρτης 35):

- Ρήγματα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ έως ΒΒΔ-ΝΝΑ και
- Ρήγματα με διεύθυνση Α-Δ (Εικόνα 136).



Χάρτης 35 Χάρτης Ρηγμάτων (κόκκινο) & Τομών (μαύρο), Πηγή: (Μουρουζίδου, 2021)



Εικόνα 136 Ροδοδιάγραμμα Παρατάξεων των Ρηγμάτων

Η πρώτη ομάδα ρηγμάτων, ΒΔ – ΝΑ έως ΒΒΔ – ΝΝΑ διεύθυνσης, χαρακτηρίζονται ως πλαγιοκανονικά ρήγματα με δεξιόστροφη συνιστώσα κίνησης και βυθίζονται προς τα ΝΔ. Στη δεύτερη ομάδα ρηγμάτων, Α – Δ διεύθυνσης, μετρήθηκαν τεκτονικές γραμμώσεις ολίσθησης τόσο οριζόντιας μετατόπισης όσο και κανονικής κίνησης και βυθίζονται προς τον Νότο. Τα αντιθετικά ρήγματα με διεύθυνση Α – Δ και βύθιση προς Βορρά, χαρακτηρίζονται ως κανονικά.

Βασικές διαφοροποιήσεις που προκύπτουν αφενός πιστοποιούν το σύνθετο τεκτονικό καθεστώς της περιοχής και αφετέρου τεκμηριώνουν την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας.

Συμπεράσματα – Συζήτηση

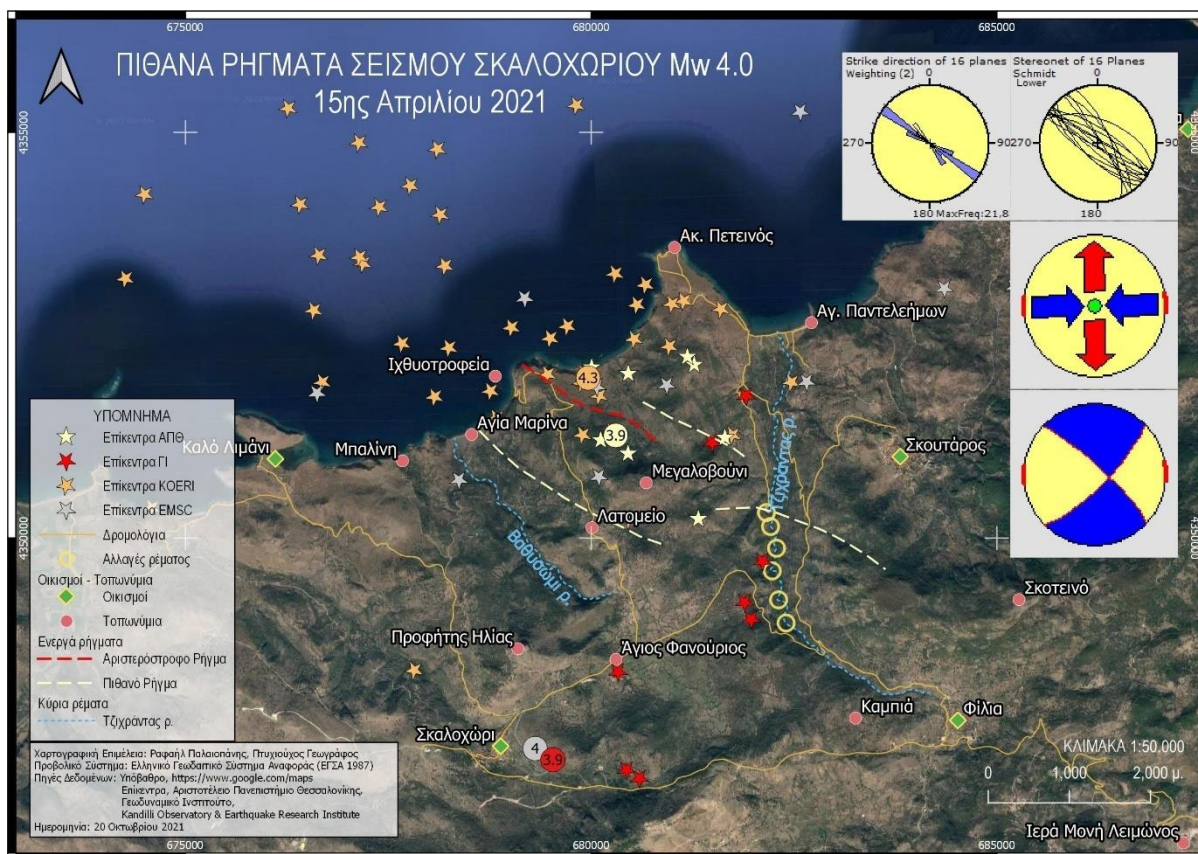
Συνοψίζοντας, τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα πεδίου και την ανάλυση των τεκμηρίων είναι τα παρακάτω:

- Η περιοχή μελέτης εμφανίζει πλήθος επιφανειακών διαρρήξεων, μετακινήσεων/καταπτώσεων βράχων και μικρών κατολισθήσεων.
- Το μέγεθος αυτών είναι μικρό (ρωγμές λίγων χιλιοστών έως μερικών εκατοστών, κατολισθήσεις μικρού όγκου) αλλά η συστηματική εμφάνιση και η γενικότερη κατανομή τους στον χώρο πιστοποιούν ότι αποτελούν τεκμήρια της πρόσφατης σεισμικής δραστηριότητας.
- Η γενική διεύθυνση που φαίνεται να ακολουθείται είναι ΒΔ – ΝΑ με κύριες περιοχές εμφάνισης τον άξονα που επισημαίνεται στον Χάρτη 30 αλλά και παράλληλα αυτού στις περιοχές Σκαλοχωρίου, Αγίου Φανουρίου και Ιεράς Μονής Λειμώνος.
- Η γραμμική ανάπτυξη των διαρρήξεων αποτυπώνεται και σε τεχνικά έργα (κράσπεδα από σκυρόδεμα, αναβαθμίδες, ξερολιθιές, λιθοσωρούς, κλπ.).
- Στα πρηνή δακτυλική λάβας οι διαρρήξεις αποτυπώνονται με μεγαλύτερη σαφήνεια και χαρακτηριστικό σταυροειδή σχήμα.
- Σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου, εντός των πιθανών ζωνών διάρρηξης, δεν εμφανίζονται σημαντικές ενδείξεις.
- Σε συγκεκριμένες περιοχές υπάρχουν σαφώς παλαιότερες και μεγαλύτερες διαρρήξεις ίδιας διεύθυνσης που ενδεχομένως πιστοποιούν την εκδήλωση παλαιότερου και ίσως μεγαλύτερου σεισμικού γεγονότος χωρίς όμως να είναι σαφές για ποιο ακριβώς συμβάν πρόκειται.
- Η ηφαιστειακή φλέβα της Φίλιας δεν φαίνεται να διαταράχθηκε από τη σεισμική δόνηση, ενδεχομένως λόγω διαφορετικής διάταξης στο χώρο.
- Στην ευρύτερη περιοχή εντοπίζονται ρήγματα που πιθανώς είχαν ενεργοποιηθεί σε παλαιότερα καθεστώτα τάσεων.
- Υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ της κύριας διεύθυνσης των διαρρήξεων, της διάταξης των επικέντρων, των μηχανισμών γένεσης και του ρήγματος που είναι σχεδόν βέβαιο ότι σχετίζονται με το υφιστάμενο ενεργό πεδίο τάσεων στην ευρύτερη περιοχή.

- Ο συνδυασμός επιμέρους στοιχείων – αλλαγές στη βλάστηση, στο μορφοανάγλυφο, αναλογικοί χάρτες, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, κ.α. – είναι χρήσιμος και πρέπει να χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό τεκμηρίων μιας σεισμικής ακολουθίας.
- Η αναζήτηση επιμέρους στοιχείων που πιστοποιούν το χρόνο γένεσης ενός γεγονότος είναι κρίσιμης σημασίας. Στην προκειμένη περίπτωση στα πρανή των δρόμων υπήρχαν διακριτές μικρές εδαφικές διαρρήξεις ή μετακινήσεις πετρωμάτων σε συγκεκριμένες ζώνες που δεν δικαιολογούνταν π.χ. από κατολισθήσεις λόγω έντονων βροχοπτώσεων. Επίσης, οι πτώσεις βράχων σε ήδη φυτρωμένα ανοιζιάτικα φυτά πιστοποιούν το χρόνο εκδήλωσης του φαινομένου.
- Η χρήση νέων τεχνολογιών παρουσιάζει μειονεκτήματα που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη συλλογή δεδομένων από το πεδίο (π.χ. περιορισμοί δορυφορικού σήματος, τροφοδοσία συσκευών, ακρίβεια μετρήσεων, κ.α.).

Ολοκληρώνοντας, για την περαιτέρω αξιοποίηση της παρούσας έρευνας προτείνονται τα παρακάτω:

- Έλεγχος των δεδομένων (πληρότητα, ευκρίνεια, ακρίβεια συντεταγμένων) και κατηγοριοποίηση των τεκμηρίων βάση του μεγέθους χρησιμοποιώντας το φωτογραφικό υλικό.
- Αναλυτική καταγραφή και επιμέτρηση με όργανα των χαρακτηριστικών (μέγεθος, κλίση, διεύθυνση, όγκο, κ.α.) των σημαντικότερων τεκμηρίων και ομαδοποίησή τους.
- Περαιτέρω έρευνα σε συγκεκριμένες υπο-περιοχές που δεν πραγματοποιήθηκε για διάφορους λόγους (ρέμα Τσιχράντας, αστικός χώρος οικισμού Σκαλοχωρίου, κ.α.).
- Παρακολούθηση μελλοντικών τεχνικών έργων στην περιοχή (π.χ. διάνοιξη – ασφαλτόστρωση αγροτικού δρόμου Τζιχράντας) για τον εντοπισμό νέων τεκμηρίων.
- Ολοκλήρωση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους σε ακρίβεια 2μ.Χ2μ., αποτύπωση επ' αυτού των τεκμηρίων της έρευνας, ανάλυση της μορφοτεκτονικής της ευρύτερης περιοχής και διερεύνηση αυτής για την ύπαρξη και άλλων νεοτεκτονικών δομών (Χάρτης 36).
- Τρισδιάστατη αποτύπωση του ρήγματος αλλά και διαρρήξεων σε συγκεκριμένα πρανή και δημιουργία ψηφιακού αρχείου τεκμηρίων με σκοπό τη μελέτη των διαχρονικών μεταβολών σε αυτά από τις εξωγενείς δυνάμεις αλλά και ως μέτρο σύγκρισης σε πιθανή μελλοντική σεισμική δραστηριότητα (Εικόνα 137).



Χάρτης 36 Πιθανά Ρήγματα

- Κατασκευή διαδραστικού ή αφηγηματικού χάρτη για την παρουσίαση των παραπάνω πληροφοριών και χρήση του ως εργαλείου ενημέρωσης και εκπαίδευσης.
- Παρακολούθηση αντίστοιχων γεγονότων σε άλλες περιοχές με σκοπό την τεκμηρίωση της υπόθεσης ότι και μικρότερου μεγέθους σεισμοί προκαλούν μακροσεισμικά γεγονότα, δύσκολα όμως αντιληπτά στον άνθρωπο. Γεγονός που επιβαρύνει τεκτονικά μια περιοχή, δημιουργώντας επιπλέον αστοχίες στα πετρώματα αποτελώντας μακροπρόθεσμα πηγή βλαβών σε κτίρια ή υποδομές ή/και επιβαρυντικό παράγοντα σε ένα μελλοντικό σεισμικό συμβάν.



Εικόνα 137 Τριδιάστατο Μοντέλο Ρήγματος

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

- Βαλιάκος, Η., 2018. *Διδακτορική Διατριβή: Γεωγραφία, Αξιολόγηση και Διαχείριση*. Μυτιλήνη: Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας.
- Γαβαλάς, Β., 2019. *Ο πληθυσμός των νησιών του Αρχιπελάγους*. Θεσσαλονίκη: Δίσιγμα.
- Γαβαλάς, Β. Σ., 2015. *Ο κόσμος που κερδίσαμε. Πληθυσμιακή Γεωγραφία της Σύγχρονης Ελλάδας*. 2η επιμ. Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
- Δελλαδέτσιμας, Π. - Μ. Α., 2009. *Οι ασφαλείς πόλεις*. Αθήνα: Εξάντας Εκδοτική Α.Ε.
- Δούτσος, Θ., 2014. *Γεωλογία: αρχές και εφαρμογές*. Αθήνα: Liberal Books.
- Εργαστήριο Χαρτογραφίας και Γεωπληροφορικής, 2018. *Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους*. Μυτιλήνη: Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας.
- Εργαστήριο Χαρτογραφίας και Γεωπληροφορικής, 2008. *Χάρτης Ενεργών Ρηγμάτων & Σεισμικότητας Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου, Φύλλο 1*. Μυτιλήνη: Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας.
- Ζούρος, Ν. και συν., 2015. *Οδηγός Γεωπάρκου Λέσβου*. Μυτιλήνη: Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου.
- Θωμαΐδου, Ε., 2009. *Διδακτορική Διατριβή: Η Γεωλογική Δομή της Λέσβου*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας.
- Ι.Τ.Σ.Α.Κ, 2017. *Σεισμός Λέσβου Mw 6.3 thw 12/06/2017 Προκαταρκτική Έκθεση*. Θεσσαλονίκη, ΟΑΣΠ.
- Ιωσηφίδης, Θ., 2008. *Ποιοτικές μέθοδοι έρευνας στις κοινωνικές επιστήμες*. Αθήνα: Εκδόσεις Κριτική ΑΕ.
- Καμπούρης, Ζ., 1978. *Θεομηνίες στη Λέσβο τον 19ο αιώνα*. Μυτιλήνη: s.n.
- Κάτσιος, Ι. & Τσάτσαρης, Α., 2014. *Διαλέξεις Θεματικής Χαρτογραφίας*. Αθήνα: Εκδόσεις Δίσιγμα.
- Λαμπρακόπουλος, Α., 2020. *Μεταπτυχιακή Διατριβή: Αξιοποίηση σύγχρονων μεθοδολογιών των γεωεπιστημών για τη μελέτη και ανάδειξη τεκτονικών γεωτόπων ως εργαλείο για την ευαισθητοποίηση για τον σεισμικό κίνδυνο: το παράδειγμα της Δ. Λέσβου*. Μυτιλήνη: s.n.
- Λέκκας, Ε. Λ., 2000. *Φυσικές & Τεχνολογικές Καταστροφές*. Β' επιμ. Αθήνα: ACCESS Pre-Press.

Μουντράκης, Δ., 2010. *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Μουρουζίδου, Ό., 2021. *Διδακτορική Διατριβή: Νεοτεκτονική ΒΑ Αιγαίου (Λέσβος - Ρήγμα Αδραμυτίου)*. Θεσσαλονίκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μπεριάτος, Η. & Δελλαδέτσιμας, Π. -. Μ. επιμ., 2010. *Σεισμοί και Οικιστική ανάπτυξη*. Αθήνα: Κριτική.

Ν. 4662/2020, 2020. *Εθνικός Μηχανισμός Διαχείρισης Κρίσεων και Αντιμετώπισης Κινδύνων, αναδιάρθρωση της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας, αναβάθμιση συστήματος εθελοντισμού πολιτικής προστασίας, αναδιοργάνωση του Πυροσβεστικού και άλλες διατάξεις, ΦΕΚ 27/Α/7-2-2020*. Αθήνα: Εφημερίδα της Κυβέρνησης.

ΟΑΣΠ, 2007. *Σεισμός Η γνώση είναι προστασία Αντισεισμική Προστασία Σχολείων*, Αθήνα: ΥΠΕΧΩΔΕ ΟΑΣΠ.

Παλαιοπάνης, Ρ. & Ζούρος, Ν., 2021. *Συμβολή στη μελέτη προστασίας, ανάδειξης και διαχείρισης ενός γεώτοπου. Μελέτη περίπτωσης: Κοιλάδα Αιγώνας, Νήσου Λέσβου*. Μυτιλήνη, Προφορική Ανακοίνωση, Συνέδριο Γεωγραφίας "Η Γεωγραφία σε έναν κόσμο που αλλάζει". 2-4 Ιουνίου 2021. Τμήμα Γεωγραφίας Πανεπιστημίου Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Παπαδόπουλος, Γ., 2000. *Η Πολιτική Προστασία στην Ελλάδα, Αντιμετώπιση Φυσικών και Τεχνολογικών Καταστροφών*. Περιστέρι: Εκδόσεις 'Ιων.

Παπαδόπουλος, Γ., 2015. *Λέσβος - Χίος Ψαρά, Οι σεισμοί και τα Τσουνάμι από την Αρχαιότητα μέχρι Σήμερα*. Αθήνα: Οσελότος.

Παπαδόπουλος, Γ. Α., 2021. *Στα Μονοπάτια του Εγκέλαδου, Μια σεισμολογία για όλους*. Αθήνα: Οσελότος.

Παπαζάχος, Β., Καρακαϊσης, Γ. & Χατζηδημητρίου, Π., 2019. *Εισαγωγή στη Σεισμολογία*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη.

Παπαζάχος, Β. & Παπαζάχου, Κ., 1989. *Οι Σεισμοί της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη.

Παπαζάχος, Κ., Κυρατζή, Α. & Κοντοπούλου, Δ., 1998. Ενεργός Τεκτονική στο Αιγαίο και τη Γειτονική Περιοχή. Στο: *Βασικά αποτελέσματα της σεισμολογικής έρευνας στην Ελλάδα*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη, pp. 49-77.

Παπανικολάου, Δ. & Σίδερης, Χ., 2015. *Γεωλογία, η επιστήμη της Γης*. Αθήνα: Πατάκη.

Παυλίδης, Σ., 1998. *Ο σεισμός της 13ης Μαΐου 1995 Κοζάνης - Γρεβενών : επιστημονική και κοινωνική προσέγγιση / γενική επιμέλεια έκδοσης Σπ. Β. Παυλίδης*. Κοζάνη: Ινστιτούτο Βιβλίου και Ανάγνωσης.

Παυλίδης, Σ., 2007. *Παν-Γαία (Παγγαία) μια διαφορετική βιο-γεωλογική διαδρομή στον πλανήτη ΓΗ*. Αθήνα: Leader Books ΑΕ.

- Παυλίδης, Σ. Β., 2016. *Γεωλογία των Σεισμών, Εισαγωγή στη νεοτεκτονική, μορφοτεκτονική, παλαιοσεισμολογία και αρχαιοσεισμολογία*. 2η επιμ. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Παυλίδης, Σ. & Μουντράκης, Δ., 1986. *Νεοτεκτονική, Εισαγωγή στη μελέτη των πρόσφατων γεωλογικών δομών*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Παυλόπουλος, Κ., 2011. *Γεωμορφολογία, Εφαρμογές στις Γεωεπιστήμες*. Περιστερί: Ίων.
- Σκορδύλης, Ε., Καρακώστας, Β. & Δημητρίου, Π., 1998. Σεισμικότητα της Ελλάδας. Στο: *Βασικά αποτελέσματα της σεισμολογικής έρευνας στην Ελλάδα*. Θεσσαλονίκη: Ζήτη, pp. 17-48.
- Ταξειδής, Κ., 2003. *Διδακτορική Διατριβή, Μελέτη της Ιστορικής Σεισμικότητας των Νήσων του Ανατολικού Αιγαίου*. Αθήνα: Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- ΦΕΚ Β' 698/20-03-2014, 2014. *Αποτελέσματα της Απογραφής Πληθυσμού-Κατοικιών 2011 που αφορούν στον Μόνιμο Πληθυσμό της Χώρας*. Αθήνα: Εφημερίδα της Κυβέρνησης.
- Χατζόπουλος, Ι. Ν., 2012. *Γεωχωροπληροφορική Τοπογραφία*. Αθήνα: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Χουτζαίος, Γ., 1998. *Συμβολή στη μελέτη της σεισμικότητας της νήσου Λέσβου και της περιμετρικής περιοχής*. Μυτιλήνη: Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λέσβου.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Caputo, R., Chatzipetros, A., Pavlides, S. & Sboras, S., 2012. The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS): state-of-the-art for northern Greece. *Annals of Geophysics*, 5, Issue 55, pp. 859-894.
- Chatzipetros, A. και συν., 2013. Active faulting in the north-eastern Aegean Sea Islands. *Tectonophysics* 597-598, pp. 106 -122.
- Hecht, J., 1974. *Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδας, Νήσος Λέσβος, Φύλλον Μήθυμνα*. Αθήνα: ΕΘ.Ι.Γ.Μ.Ε.
- Kyratzi, A. & Louvari, E., 2003. Focal mechanisms of shallow earthquakes in the Aegean Sea and the surrounding lands determined by waveform modelling: a new database. *Journal of Geodynamics*, Issue 36, pp. 251-274.
- McKenzie, D., 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, Issue 30, pp. 109-185.
- Mountrakis, D., Thomaidou, E., Zouros, N. & Kiliass, A., 2001. *KINEMATIC ANALYSIS AND TERTIARY EVOLUTION OF THE LESVOS*. Αθήνα, Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, Τομ. XXXIV/1, 267-274, 2001.

Mourouzidou, O., Pavlides, S., Fytikas, M. & Zouros, N., 2004. *The neotectonic characteristic structures at the area of Gavathas, Northern Lesvos island, (Aegean, Greece)*. Thessaloniki, s.n., pp. 861-864.

Nomikou, P. και συν., 2021. Morphotectonic Structures along the Southwestern Margin of Lesvos Island, and Their Interrelation with the Southern Strand of the North Anatolian Fault, Aegean Sea, Greece. *Geohazards*, 14 12, Issue 2, pp. 415-429.

Papazachos, B. & Komninakis, P., 1971. Geophysical and Tectonic Features of the Aegean Arc. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 10 12, Issue 76, pp. 8517-5833.

Pavlides, S. & Caputo, R., 2004. Magnitude versus faults' surface parameters: quantitative relationships from the Aegean Region. *Tectonophysics*, 380, 28 9, pp. 159-188.

Pavlides, S. και συν., 2009. *USING ACTIVE FAULT DATA FOR ASSESSING SEISMIC HAZARD*: Αλεξάνδρεια, Αίγυπτος, Earthquake Geotechnical Engineering Satellite Conference, XVIIth International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, 2-3. 10. 2009.

Soulakellis, N. και συν., 2006. Fusing Landsat-5/TM Imagery and Shaded Relief Maps in Tectonic and Geomorphic Mapping: Lesvos Island, Greece. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 06, 6(72), pp. 693-700.

Tsoulos, L., Skopeliti, A. & Stamou, L., 2015. Γεωαναφορά. Στο: *Χαρτογραφική σύνθεση και απόδοση σε ψηφιακό περιβάλλον*. Athens: Hellenic Academic Libraries Link.

Yuill, R., 1971. The Standard Deviation Ellipse; An Updated Tool for Spatial Description.. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*, Issue 53, pp. 28-39.

Zouros, N. και συν., 2011. Using Active Fault Studies for Raising Public Awareness and Sensitisation on Seismic Hazard: A Case Study from Lesvos Petrified Forest Geopark, NE Aegean Sea, Greece. *Geoharitage*.

Πηγές από το Διαδίκτυο

ΑΠΘ, 2021. <http://geophysics.geo.auth.gr/>. [Ηλεκτρονικό] Available at: [http://geophysics.geo.auth.gr/ss/\[Πρόσβαση 10 10 2021\]](http://geophysics.geo.auth.gr/ss/[Πρόσβαση 10 10 2021]).

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2017. <http://www.geophysics.geol.uoa.gr>. [Ηλεκτρονικό] Available at: http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/realtime/qplot_archive/SIGR.20170612.gif [Πρόσβαση 1 6 2022].

Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021. <http://bbnet.gein.noa.gr>. [Ηλεκτρονικό]
Available at: http://bbnet.gein.noa.gr/Events/GMT/HTML/2021/04/GMT_noa2021hijql.html
[Πρόσβαση 23 01 2021].

Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021. <https://bbnet.gein.noa.gr>. [Ηλεκτρονικό] Available at:
<https://bbnet.gein.noa.gr/HL/seismicity/catalogues/real-time-catalogue> [Πρόσβαση 20 10
2021].

Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021. <https://orfeus.gein.noa.gr>. [Ηλεκτρονικό]
Available at: [https://orfeus.gein.noa.gr/gisola/realtime/2021/noa2021hijql/2021-10-
18T08:38:45.445495Z/output/index.html](https://orfeus.gein.noa.gr/gisola/realtime/2021/noa2021hijql/2021-10-18T08:38:45.445495Z/output/index.html) [Πρόσβαση 20 10 2021].

Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021. <https://orfeus.gein.noa.gr/>. [Ηλεκτρονικό]
Available at: [https://orfeus.gein.noa.gr/gisola/realtime/2021/noa2021hijql/2021-10-
18T08:38:45.445495Z/output/index.html](https://orfeus.gein.noa.gr/gisola/realtime/2021/noa2021hijql/2021-10-18T08:38:45.445495Z/output/index.html) [Πρόσβαση 27 12 2021].

Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, 2021. <https://www.gein.noa.gr>. [Ηλεκτρονικό] Available at:
<https://www.gein.noa.gr/ypiresies-proionta/vasi-anazitisis/> [Πρόσβαση 17 4 2021].

Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ. <http://www.gein.noa.gr/>. [Ηλεκτρονικό] Available at:
<http://www.gein.noa.gr/HTML/WEB-EDU/focal-mechanism.htm> [Πρόσβαση 27 12 2021].

Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, χ.χ. <http://www.gein.noa.gr/>. [Ηλεκτρονικό] Available at:
http://www.gein.noa.gr/Greek/web_macro/mm-scale.gif [Πρόσβαση 06 01 2022].

Γεωπάρκο Λέσβου, χ.χ. <https://www.lesvosgeopark.gr/>. [Ηλεκτρονικό] Available at:
[https://www.lesvosgeopark.gr/%CE%B7%CF%86%CE%B1%CE%AF%CF%83%CF%84%
CE%B5%CE%B9%CE%B1/](https://www.lesvosgeopark.gr/%CE%B7%CF%86%CE%B1%CE%AF%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%B1/) [Πρόσβαση 16 08 2021].

Μουντράκης, Δ., χ.χ. <http://www.geo.auth.gr>. [Ηλεκτρονικό] Available at:
<http://www.geo.auth.gr/871/ch5.htm> [Πρόσβαση 24 Σεπτέμβριος 2019].

Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Απολιθωμένου Δάσους Λέσβου, 2015. www.lesvosmuseum.gr/.
[Ηλεκτρονικό] Available at:
[www.lesvosmuseum.gr/site/home/library/images/edition/ekpedeftikes_ekdosis/geologikos_xa
rtis.csp](http://www.lesvosmuseum.gr/site/home/library/images/edition/ekpedeftikes_ekdosis/geologikos_xartis.csp) [Πρόσβαση 24 Σεπτέμβριος 2019].

ΟΑΣΠ, 2007. <https://www.oasp.gr>. [Ηλεκτρονικό] Available at:
<https://www.oasp.gr/userfiles/image/3b.jpg> [Πρόσβαση 27 12 2021].

ΟΑΣΠ, χ.χ. <https://www.oasp.gr>. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.oasp.gr/node/206>
[Πρόσβαση 06 01 2021]

Σολιδάκης, Μ., χ.χ. <http://www.meleth.gr/Topo.html>. [Ηλεκτρονικό] Available at:
<http://www.meleth.gr/Topo.html> [Πρόσβαση 29 Αύγουστος 2019].

Τμήμα Γεωλογίας - ΑΠΘ, χ.χ. <http://www.geo.auth.gr>. [Ηλεκτρονικό] Available at:
http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/mth1063e/pdf/10th_Chapter.pdf [Πρόσβαση 06 01 2022].

Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2021. <http://www.geophysics.geol.uoa.gr>. [Ηλεκτρονικό]Available at: http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/gmaps3/eventpage_leaf.php?scid=nkua2021hiip&lng=en[Πρόσβαση 10 12 2021].

Τμήμα Γεωλογίας, ΑΠΘ, χ.χ. <http://www.geo.auth.gr>. [Ηλεκτρονικό]Available at: http://www.geo.auth.gr/537/ch5_files/p33.jpg[Πρόσβαση 27 12 2021].

Φωτόδεντρο, χ.χ. <http://ebooks.edu.gr/>. [Ηλεκτρονικό]Available at: http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGYM-106/370/2471,9458/images/6_3.jpg) [Πρόσβαση 06 01 2022].

ArcGis 10.2.2, 2014. *Help*. [Ηλεκτρονικό][Πρόσβαση 24 Σεπτέμβριος 2019].

EMSC, 2021. <https://static1.emsc.eu/>. [Ηλεκτρονικό]Available at: <https://static1.emsc.eu/Images/FELTREPORTS/97/970118/IntensityMap.png> [Πρόσβαση 02 06 2022].

EMSC, 2021. <https://www.emsc-csem.org>. [Ηλεκτρονικό]Available at: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/?filter=yes>[Πρόσβαση 20 10 2021].

Google Earth Pro, 2021. *Google Earth Pro*. s.l.:Google Earth Pro.

GreDaSS, 2021. <http://gredass.unife.it/>. [Ηλεκτρονικό]Available at: <http://gredass.unife.it/>

ICC, 2021. <https://stratigraphy.org/>. [Ηλεκτρονικό]Available at: <https://stratigraphy.org/chart> [Πρόσβαση 13 Δεκέμβριος 2021].

KOERI, 2021. <http://udim.koeri.boun.edu.tr>. [Ηλεκτρονικό]Available at: <http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqmap/hgmmapen.asp>[Πρόσβαση 20 10 2021].

USGS, 2018. <http://magazine.noa.gr/>. [Ηλεκτρονικό]Available at: http://magazine.noa.gr/wp-content/uploads/2018/11/941_fig01.jpg[Πρόσβαση 03 01 2022].

USGS, 2019. <https://www.usgs.gov/faqs/what-difference-between-a-dem-and-a-dsm>. [Ηλεκτρονικό]Available at: <https://www.usgs.gov/faqs/what-difference-between-a-dem-and-a-dsm>[Πρόσβαση 26 Αύγουστος 2021].

www.orykta.gr/, χ.χ. <https://www.orykta.gr>. [Ηλεκτρονικό]Available at: <https://www.orykta.gr/images/geologia-tis-elladas/sxima-geotektonikon-zonon-ellados.png> [Πρόσβαση 06 01 2021].

www.seismoi.gr, 2009. *seismoi.gr*. [Ηλεκτρονικό]Available at: <http://www.seismoi.gr/klimakestwnseismwn.htm>[Πρόσβαση 06 01 2022].

Σημ.: Όταν δεν αναφέρεται ρητά η πηγή σε χάρτη, εικόνα ή φωτογραφία, νοείται ότι προέρχεται από ίδια επεξεργασία ή το προσωπικό αρχείο του συγγραφέα της εργασίας.

Παράρτημα

